

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS

TEMA:
DESARROLLO DE UN LAZARILLO ROBÓTICO APOYADO CON VISIÓN
ARTIFICIAL PARA EL GUIADO DE PERSONAS INVIDENTES

AUTORES:
MOROMENACHO OÑA OMAR ALEXANDER
YANGUICELA PERALTA JAIRO DANILO

TUTOR
JOSÉ ALCIDES RUMIPAMBA LÓPEZ

Quito, Agosto del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Omar Alexander Moromenacho Oña, con documento de identificación N° 172491603-4 y Jairo Danilo Yanguicela Peralta con documento de identificación N° 171925793-1 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DESARROLLO DE UN LAZARILLO ROBÓTICO APOYADO CON VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL GUIADO DE PERSONAS INVIDENTES”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En la aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Omar Alexander Moromenacho Oña

C.I: 172491603-4

Jairo Danilo Yanguicela Peralta

C.I: 171925793-1

Quito, Agosto 2019

DECLARACIÓN DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, “DESARROLLO DE UN LAZARILLO ROBÓTICO APOYADO CON VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL GUIADO DE PERSONAS INVIDENTES”, realizado por, Jairo Danilo Yanguicela Peralta y Omar Alexander Moromenacho Oña obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, Agosto 2019



José Alcides Rumipamba López

C.I: 1803854353

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico a Dios por ser la guía en mi vida y por siempre cubrirme con su bendición, a mis padres Mario y Martha que con su apoyo y amor incondicional ahora puedo decirles que este logro es de ustedes, a mi hermana que este pequeño logro sea inspiración para que también culmines tus estudios y llenes de orgullo a nuestros padres.

A mi esposa y compañera de vida Jhoselyn que ha sido testigo de todo mi trayecto en la formación académica y que siempre con su amor y comprensión supo alentarme para continuar. A mi hijo, Martín Emiliano, eres mi mayor inspiración, esperando que cuando seas capaz de leer estas pocas palabras, el presente trabajo de titulación sea de inspiración para tus logros académicos que de seguro enorgullecerán a toda la familia.

Finalmente, a mis abuelitos por su cariño, apoyo y confianza.

Omar Alexander Moromenacho Oña

Este Proyecto se lo dedico principalmente a Dios por guiarme en el caminar de mi vida, bendiciéndome, dándome sabiduría y fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer. A mis amados Padres Aida y Alejandro por brindarme apoyo incondicional durante estos años de estudio, su amor y sus consejos para salir adelante y ser una persona de bien para la sociedad, gracias por estar siempre conmigo en todo momento. A mis hermanos Ligia, Gabriel y Katy por su cariño, comprensión y apoyo, gracias por su paciencia, gracias por preocuparse por su hermano. A mis sobrinos Andriw y Emanuel por darme alegría cada día de mi vida y que con este trabajo realizado motivarles a forjar sus caminos en la ciencia para que alcancen logros profesionales, que sean personas de bien y orgullo de la familia.

A mi tía Martha que es mi segunda madre, desde niño siempre me supo cuidar y guiarme de la mejor manera con sus consejos de motivación y estar siempre pendiente en toda mi etapa de estudiante.

A mi tío Israel que representa un gran ejemplo a seguir demostrándome que todos los sueños planteados en la vida se pueden conseguir con mucha dedicación, esfuerzo y humildad.

Jairo Danilo Yanguicela Peralta

AGRADECIMIENTO

A mis padres por realizar un esfuerzo inmenso para ayudarme en mi formación académica, no me alcanzaría la vida para agradecerles todo lo que han hecho por mí.

A mi esposa Jhoselyn y hermana Glenda por brindarme esos ánimos en momentos difíciles.

A mi hijo Martín porque me cambiaste la forma de ver la vida.

A la Universidad Politécnica Salesiana por haberme permitido ser parte de su institución para impartirme conocimientos académicos y valores como es característico de la familia Salesiana.

A mi tutor de tesis, el Ingeniero José Rumipamba, Msc que siempre estuvo presto en darnos la orientación adecuada para la culminación de este proyecto.

Omar Alexander Moromenacho Oña

Gracias a la Universidad Politécnica Salesiana por haberme permitido formarme en ella e inculcar valores y principios para ser un buen profesional en la vida, al tutor de Tesis, el Ingeniero José Rumipamba, Msc. por la acertada orientación, el soporte y confianza en el desarrollo de este Proyecto de Titulación para poder culminar de la mejor manera.

Jairo Danilo Yanguicela Peralta

ÍNDICE DE CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO 1.....	1
ANTECEDENTES	1
1.1 Problema de estudio	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Beneficiarios	2
CAPÍTULO 2.....	3
ESTADO DEL ARTE	3
2.1 Clasificación robots móviles	3
2.2 Robot móvil con ruedas	3
2.3 Sistema de locomoción	4
2.4 Visión Artificial	4
2.5 AMEPI	4
2.6 Robocart	5
2.7 Raspberry Pi 3 Modelo B+.....	6
2.8 Intel Neural Compute Stick 2.....	7
2.9 OpenVINO	8
2.9.1 OpenVINO Para el Sistema Operativo Raspbian.....	9
2.10 MobileNet-SSD.....	9
2.11 Convertidores DC/DC – Buck - 6R1ML M252.....	10
2.12 Drive Puente H L298N.....	11

2.13 Arduino Uno	11
2.14 Bluetooth HC-05	12
2.15 DFPlayer Mini.....	13
2.16 Motor de Engranajes DC.....	14
2.16.1 Motor de Engranajes DC 8PV017D.....	15
2.17 Cámara Web.....	15
2.18 Router D-Link DIR-610.....	16
2.19 Modelo de color HSV	17
2.20 Requerimientos Necesarios a ser instalados en la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 B+	19
2.20.1 Instalación Del Sistema Operativo Raspbian.....	19
2.20.2 OpenVINO Para el Sistema Operativo Raspbian.....	20
2.20.3 Convertir texto a voz en Python.....	22
CAPÍTULO 3.....	23
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	23
3.1 Diagrama estructural del prototipo móvil	23
3.2 Hardware	23
3.3 Diseño Hardware.....	23
3.4 Estructura Mecánica.....	23
3.4.1 Diseño de la Estructura Mecánica.....	24
3.4.2 Diseño de Acople Motor-Llanta	25
3.5 Sistema Electrónico.....	25
3.5.1 Sistema Sensorial	27
3.5.2 Sistema de Alimentación y autonomía del Lazarillo Robótico.....	27
3.5.3 Sistema de Comunicación	28
3.6 Implementación de Hardware	28
3.6.1 Diseño de la Placa Electrónica para la conexión de los módulos	29
3.7 Etapas de Visión Artificial	30
3.7.1 Detección.....	31
3.7.2 Clasificación.....	31
3.7.3 Segmentación	32
3.8 Software	32
3.8.1 Algoritmo detección de objetos	33
3.8.2 Algoritmo detección de color.....	34

3.8.3 Algoritmo de comunicación	35
3.9 Acceso Remoto a la Raspberry Pi 3 B+	35
3.9.1 Software para el Cliente (Laptop)	36
3.9.2 Software para el servidor (Raspberry Pi 3 B+)	38
3.10 Instalación de la Librería DFRobotDFPlayerMini en Arduino.....	39
CAPÍTULO 4.....	41
ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS	41
4.1 Diseño Físico del Lazarillo Robótico.....	43
4.2 Pruebas de detección de línea guía.....	43
4.3 Pruebas de guiado sin objetos frente al prototipo	43
4.4 Pruebas de guiado con objetos frente al prototipo	44
4.5 Encuesta de Validación del Prototipo	45
4.6 Resultados obtenidos de la encuesta	45
4.7 Validación del prototipo.....	51
4.8 Validación de las pruebas realizadas al Prototipo.....	52
4.9 Comparación de resultados con “Prototipo de robot guía utilizando marcas en entornos dinámicos para las personas con discapacidad visual”	55
4.10 Relación de costos con dispositivos existentes en el mercado.....	56
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Robots Móviles	3
Figura 2.2 Componentes visión artificial	4
Figura 2.3 Robot AMEPI	5
Figura 2.4 Robocart	6
Figura 2.5 Raspberry pi 3 B+	7
Figura 2.6 Intel Neural Compute Stick 2	8
Figura 2.7 Convertidor Buck 6R1ML M252	10
Figura 2.8 Drive L298N	11
Figura 2.9 Tarjeta Arduino	12
Figura 2.10 Módulo Bluetooth HC-05	13
Figura 2.11 Esquema DFPlayer Mini	14
Figura 2.12 Motor 8PV017D	15
Figura 2.13 Cámara Logitech C170	16
Figura 2.14 Router DIR-610	17
Figura 2.15 Modelo de color HSV	18
Figura 2.16 Sistema Operativo Raspbian	19
Figura 2.17 Win32DiskImager	19
Figura 2.18 Escritura del Drive Correcto	20
Figura 2.19 Kit OpenVINO	20
Figura 2.20 Instalación correcta de OpenVINO	21
Figura 3.1 Diseño Lazarillo Robótico	24
Figura 3.2 Distribución general de los elementos	25
Figura 3.3 Acople del motor	25
Figura 3.4 Arquitectura del Sistema	26
Figura 3.5 Cámara web Logitech C170	27

Figura 3.6 Sistema de Alimentación	28
Figura 3.7 Estructura Mecánica del Lazarillo Robótico	29
Figura 3.8 Circuito para la conexión de módulos	29
Figura 3.9 Diseño de la placa para conexión de módulos	30
Figura 3.10 Circuito de Comunicación	30
Figura 3.11 Operación de Detección	31
Figura 3.12 Diagrama de Flujo Lazarillo Robótico	32
Figura 3.13 Proceso de reconocimiento de objetos	33
Figura 3.14 Archivo IR	33
Figura 3.15 Detección de la línea guía	34
Figura 3.16 Matrices de color	34
Figura 3.17 Acceso remoto a la Raspberry Pi	36
Figura 3.18 Ventana de configuración de Putty	37
Figura 3.19 Terminal Putty	37
Figura 3.20 Ventana VNC Viewer	38
Figura 3.21 Configuración de Raspberry Pi	39
Figura 3.22 Activación de VNC	39
Figura 3.23 Incluir librería dentro del Software Arduino	40
Figura 3.24 Selección del archivo .ZIP	40
Figura 4.1 Armado del Entorno de Pruebas	41
Figura 4.2 Funcionamiento del Prototipo	42
Figura 4.3 Funcionamiento del Lazarillo Robótico con el Docente	42
Figura 4.4 Detección de la línea guía	43
Figura 4.5 Guiado de la persona sin obstáculo	44
Figura 4.6 Guiado de la persona con obstáculo al frente	44

Figura 4.7 Confiabilidad y tipo de objeto	45
Figura 4.8 Resultados de la Pregunta 1	46
Figura 4.9 Resultados de la Pregunta 2	46
Figura 4.10 Resultados de la Pregunta 3	47
Figura 4.11 Resultados de la Pregunta 4	48
Figura 4.12 Resultados de la Pregunta 5	49
Figura 4.13 Resultados de la Pregunta 6	50
Figura 4.14 Resultados de la Pregunta 7	51
Figura 4.15 Trayectoria de pruebas del Lazarillo Robótico	53
Figura 4.16 Prueba de guiado sin obstáculos	54
Figura 4.17 Prueba de guiado con obstáculos	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características Raspberry Pi 3 B+	7
Tabla 2.2 Especificaciones Técnicas Intel Neural Compute Stick 2	8
Tabla 2.3 Características 6R1ML M252	10
Tabla 2.4 Especificaciones Técnicas L298N	11
Tabla 2.5 Características Arduino Uno	12
Tabla 2.6 Especificaciones Técnicas Bluetooth HC-5	13
Tabla 2.7 Características Mp3-tf-16p	14
Tabla 2.8 Características Motor 8PV017D	15
Tabla 2.9 Características Cámara Logitech	16
Tabla 2.10 Características del Router DIR-610	17
Tabla 4.1 Validación del Prototipo	52
Tabla 4.2 Tabla de validación de pruebas	53
Tabla 4.3 Relación de precios	57

RESUMEN

Actualmente la Visión Artificial se encuentra en un sin número de aplicaciones ya que utilizando técnicas adecuadas permite obtener, analizar y procesar información adquiridas a través de imágenes digitales. El Desarrollo de un Lazarillo Robótico apoyado con visión artificial tiene como finalidad guiar a personas invidentes en un entorno controlado. El Lazarillo Robótico cuenta con una Raspberry Pi 3 B+ que permite el control del sistema, un dispositivo de computación neuronal conocido como Intel Neural Compute Stick 2 (INTEL NCS2) que recibe las imágenes captadas de la cámara y determina el tipo de imagen, una cámara Web la cual cumple dos funciones, la primera es adquirir imágenes del entorno, la segunda es detectar la línea guía de color rojo y finalmente la comunicación del Lazarillo Robótico está compuesta de un Arduino Uno y un Bluetooth HC-05 cuya función es informarle a la persona invidente el sentido en que se está moviendo el Lazarillo mediante mensajes de voz por ejemplo al no detectar ningún objeto mediante la comunicación se emitirá un mensaje de voz indicando el sentido que está tomando el Lazarillo Robótico. El Sistema de Locomoción del Lazarillo está compuesto de dos llantas traseras que están colocadas de forma paralela en el chasis, dos ruedas castor en la parte delantera que se utilizan para seguir la trayectoria del Robot.

ABSTRACT

Currently the Artificial Vision is in a number of applications since using appropriate techniques allows to obtain, analyze and process information acquired through digital images. The Development of a Robotic Lazarillo supported with artificial vision aims to guide blind people in a controlled environment. The Robotic Lazarillo has a Raspberry Pi 3 B + that allows system control, a neural computing device known as Intel Neural Compute Stick 2 (INTEL NCS2) that receives the images captured from the camera and determines the type of image, a camera Web which fulfills two functions, the first is to acquire images of the environment, the second is to detect the red guideline and finally the communication of the Robotic Lazarillo is composed of an Arduino Uno and a Bluetooth HC-05 whose function is to inform the Blind person the sense in which the Lazarillo is moving through voice messages, for example, when no object is detected through communication, a voice message will be issued indicating the direction the Robotic Lazarillo is taking. The Locomotion System of the Lazarillo is composed of two rear tires that are placed in parallel in the chassis, two castor wheels in the front that are used to follow the path of the Robot.

INTRODUCCIÓN

El Lazarillo Robótico está diseñado para que ser utilizado por personas invidentes en un ambiente controlado. El presente Proyecto se encuentra detallado en 4 Capítulos.

Capítulo 1, se detalla todo lo referente al Problema de Estudio, Justificación, Objetivos tanto General como Específicos y los Beneficiarios para el desarrollo del Proyecto de Titulación.

Capítulo 2, se define los conceptos como Robot Móvil, Sistema de Locomoción, Visión Artificial, Intel Neural Compute Stick 2, Modelo de color HSV, además se explica el Marco Teórico de las características más importantes de los componentes electrónicos utilizados en el Proyecto.

Capítulo 3, se detalla el diseño e implementación para poner en funcionamiento el Lazarillo Robótico para el guiado de personas invidentes como el Diseño de la Estructura Mecánica y diseño de la Placa Electrónica para interconectar los módulos utilizados en el Proyecto. En este capítulo también se detalla el algoritmo utilizado para la detección de objetos y detección del color de la línea guía, así como el algoritmo de comunicación utilizado entre el Lazarillo Robótico y la persona invidente y finalmente el acceso remoto entre la Laptop y la Raspberry Pi.

Capítulo 4, finalmente en este capítulo se detalla las pruebas de guiado con y sin objetos en frente del Lazarillo realizadas con los estudiantes del Colegio Leonardo Ponce Pozo, así como las tabulaciones de las preguntas realizadas a dichos estudiantes.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Problema de estudio

Según el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) en Ecuador existen 274 000 personas invidentes, es limitado el acceso a dispositivos que les permitan una mejor adaptación.

En la actualidad las personas invidentes usan un bastón para movilizarse solos, y el mecanismo para hacerlo es ir moviendo el bastón delante de ellos para ir verificando que no haya un obstáculo en su camino, de haberlo lo que hacen es detenerse, tratar de identificar el obstáculo y evadirlo.

La movilización de las personas no videntes con el método ya mencionado es muy lenta, deben hacerlo de esta forma porque es la única para poder movilizarse de manera exitosa, de esta forma están haciendo dos cosas a la vez, caminando y moviendo el bastón para encontrar obstáculos.

Las personas que no usan bastón regularmente caminan junto a un compañero para que los guíe en ambientes desconocidos.

1.2 Justificación

La movilización para una persona invidente es muy importante porque su propósito como persona con capacidades especiales es valerse por sí solos y hacer las cosas como una persona normal incluso en el mismo tiempo.

El aprender a movilizarse confiando en un prototipo es el reto de igual forma para quienes brindan sus conocimientos para la creación de este tipo de dispositivos de gran ayuda para un sector de la población tan vulnerable como lo son las personas no videntes. El proyecto está orientado en el desarrollo de un prototipo funcional de bajo costo porque se busca que el prototipo final sea accesible para personas invidentes de bajos recursos económicos. Además, con el desarrollo de este proyecto se recopilará

información acerca de la factibilidad de utilizar visión artificial para guiar personas invidentes y se realizarán tablas comparativas de funcionamiento con respecto a otros prototipos desarrollados.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un lazarillo robótico de bajo costo para el guiado de personas invidentes apoyado mediante visión artificial.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Revisar el estado del arte para la determinación de los componentes del software y hardware a utilizarse.
- Implementar un prototipo robótico para utilizarlo en las pruebas de visión artificial.
- Programar un algoritmo de visión artificial para detectar objetos en la trayectoria que va a seguir la persona.
- Desarrollar un sistema de comunicación entre robot y la persona invidente para guiarle por una trayectoria con obstáculos.
- Probar el funcionamiento del prototipo dentro de un espacio controlado con obstáculos para la comprobación de la correcta comunicación entre la cámara, el prototipo robótico y el sistema que advierte de la presencia de objetos a la persona invidente.
- Validar el funcionamiento del prototipo realizando pruebas con un grupo de personas invidente para obtener datos y compararlos con los resultados de prototipos ya realizados en otras investigaciones.

1.4 Beneficiarios

Este Proyecto Técnico tiene el enfoque de beneficiar a personas invidentes de bajos recursos económicos permitiendo guiarles dentro de un entorno controlado con obstáculos.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

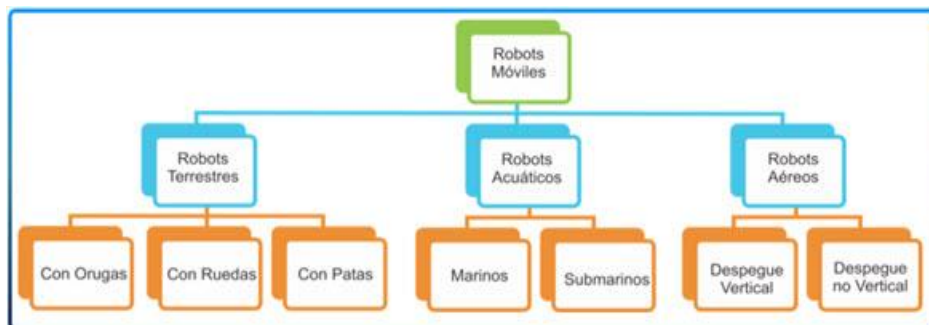
2.1 Clasificación robots móviles

El desarrollo de los Robot Móviles se da por la necesidad de expandir el campo de aplicación de la robótica.

De gran importancia es la movilidad que tenga el robot, ya que de esto dependerá el éxito de las funciones a cumplir que fueron programadas.

Por lo que los Robots Móviles se clasifican como: aéreos, acuáticos y terrestres (Márquez-Sánchez, Antonio-Cruz, & Sosa-Cervantes, 2014).

Figura 2.1 Robots Móviles



Clasificación de los robots móviles, (Márquez-Sánchez, Antonio-Cruz, & Sosa-Cervantes, 2014).

2.2 Robot móvil con ruedas

Los Robots Móviles con Ruedas son diseñados para eliminar las limitaciones que poseen los robots fijos. Se movilizan en superficies o terrenos a altas y bajas velocidades para el transporte de materiales, guiado, ect (Andrade & Orellana Torres, 2017).

Robot Móvil con Ruedas es el más popular por sus aplicaciones prácticas (Andrade & Orellana Torres, 2017).

2.3 Sistema de locomoción

Para mover un robot sobre una superficie sólida se utiliza ruedas, cadenas y patas.

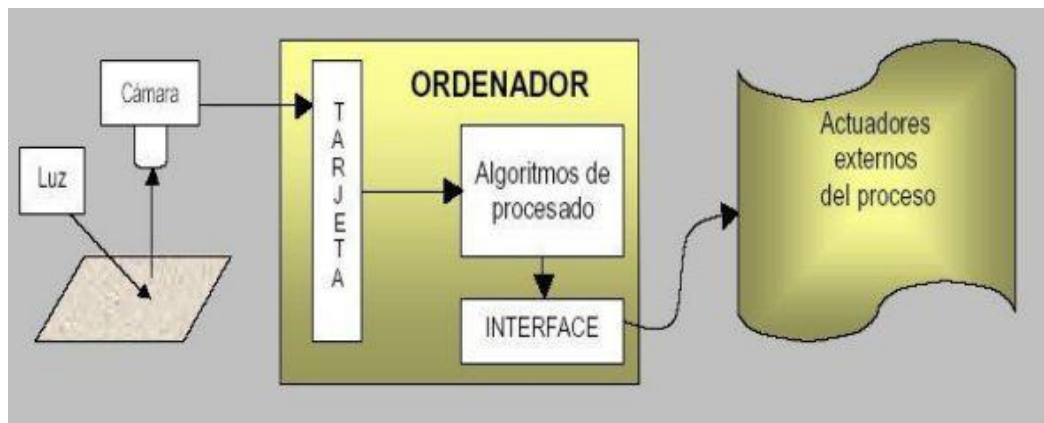
Los Robots Móviles con ruedas son los más populares por varias razones prácticas, son sencillos y fáciles de construir. Lo contrario Robots con cadenas y patas son complicados en su construcción (Fernández, 2002).

2.4 Visión Artificial

Conjunto de técnicas para adquirir características útiles de una o varias imágenes mediante un dispositivo electrónico programable para controlar un sistema automático (Márquez, 2016).

Los sistemas de visión artificial realizan tareas de inspección con alto nivel de flexibilidad y repetitividad, ven el objeto por medio de una cámara la interpretan y procesan la imagen a través de aplicaciones en un sistema computarizado (Márquez, 2016).

Figura 2.2 Componentes visión artificial



Componentes de un sistema de visión artificial, (Mantilla & Orduz Rodríguez, 2015).

2.5 AMEPI

Robot que tiene la función de un perro guía para personas invidentes, compuesto por sensores ultrasónicos, cámaras de alta definición, tracción de oruga diferencial, cuenta con una tarjeta Arduino que permite regular la velocidad y giro de los motores y tiene

una diadema inalámbrica con la que la persona invidente puede interactuar con el robot (Martínez, 2015).

AMEPI puede evadir obstáculos y avisar al invidente las características de su entorno mediante el reconocimiento de símbolos (Martínez, 2015).

La persona invidente puede dar comandos de voz y también puede escuchar recomendaciones del robot. AMEPI puede reconocer los obstáculos presentes en su trayectoria debido a que puede autoexplorar en un entorno desconocido (Martínez, 2015).

Figura 2.3 Robot AMEPI



Robot guía para invidentes, (Martínez, 2015).

2.6 Robocart

Robot asistente de compras para personas invidentes desarrollado por la Universidad Estatal de Utah en Estados Unidos, su finalidad es que puedan realizar sus compras de forma independiente en un supermercado (Correa, 2015).

Robocart está conformado por etiquetas pasivas RFID (Radio Frequency Identification) para la auto-localización al inicio, final y tres más distribuidas a lo largo de cada pasillo (Correa, 2015).

Las etiquetas contienen coordenadas 2D que son empleadas para corregir los errores en la Localización Global de Markov. RFID está compuesto por 4 elementos: etiquetas, lector de etiquetas, middleware y una aplicación (Correa, 2015).

Las etiquetas son pasivas al no tener una fuente de alimentación de energía y sólo retrodispersan la transmisión de un lector, el lector transmite señales de radio frecuencia y recibe la señal codificada de la etiqueta, la decodifica y transmite los datos a la aplicación mediante el middleware (Correa, 2015).

Figura 2.4 Robocart



Asistente de compras para personas con discapacidad visual. (Correa, 2015).

2.7 Raspberry Pi 3 Modelo B+

Modelo de mini ordenador que puede soportar WiFi doble banda y Gigabit Ethernet. Posee un disipador situado encima del SoC (System on chip) que controla las temperaturas generadas por la CPU (Central Processing Unit) (Pastor, 2018).

Figura 2.5 Raspberry pi 3 B+



Mini ordenador Raspberry pi 3 Modelo B+, (Pastor, 2018).

Tabla 2.1 Características Raspberry Pi 3 B+

Procesador	(ARMv8) 64-bit
Frecuencia de reloj	1,4 GHz
Memoria RAM	1GB
Conexión Inalámbrica	Bluetooth 4.2
Conectividad de Red	Gigabit Ethernet, USB 2.0 300 Mbps
Periféricos	Pines GPIO = 40 HDMI USB 2.0 = 4))

Especificaciones técnicas de la Raspberry Pi 3 Modelo B+, Fuente: (Pastor, 2018).

2.8 Intel Neural Compute Stick 2

Dispositivo de hardware basado en unidades de procesamiento de visión (VPU), cuenta con la unidad de procesamiento de visión de alto desempeño de Intel, Intel Movidius Myriad X VPU que incluye dos motores de cálculo neuronal (NCE) permitiendo ejecutar redes neuronales profundas a alta velocidad y responder en tiempo real (Smith, 2019).

Intel NCS 2 permite elaborar prototipos e implementar aplicaciones de redes neuronales profundas (DNN) de manera más inteligente y eficaz con un kit de desarrollo de aprendizaje profundo diminuto, contiene más núcleos informáticos y un acelerador de hardware dedicado para inferencia de redes neuronales profundas. (INTEL NEURAL COMPUTE STICK, 2018).

Figura 2.6 Intel Neural Compute Stick 2



Dispositivo de visión artificial Intel Neural Compute Stick 2. (INTEL NEURAL COMPUTE STICK, 2018).

Tabla 2.2 Especificaciones Técnicas Intel Neural Compute Stick 2

Procesador	Unidad de procesamiento de visión (VPU) Intel Movidius Myriad
Marcos compatibles	TensorFlow y Caffe
Conectividad	USB 3.0 Tipo A
Sistemas Operativos compatibles	Ubuntu 16.04.3 LTS Raspbian CentOS 7.4 Windows 10

Especificaciones Técnicas más relevantes del Intel NCS 2, Fuente: (INTEL NEURAL COMPUTE STICK, 2018).

Intel NCS 2 en unión con Intel Distribution of OpenVINO toolkit, permite a los desarrolladores de aprendizaje profundo puedan elaborar perfiles, realizar ajustes e implementar redes neuronales convolucionales (CNN) en aplicaciones con bajo consumo de energía que requieren inferencia en tiempo real, ayuda acelerar el desarrollo de soluciones para visión computarizada de alto desempeño (INTEL NEURAL COMPUTE STICK, 2018).

2.9 OpenVINO

OpenVINO implementa aplicaciones y soluciones que emulan la visión humana, está basado en redes neuronales convolucionales (CNN) que permite la inferencia de aprendizaje profundo en el borde, extiende las cargas de trabajo de visión artificial

(CV) a través del hardware Intel, maximizando el rendimiento (OpenVINO toolkit, 2019).

2.9.1 OpenVINO Para el Sistema Operativo Raspbian

OpenVINO para el sistema operativo Raspbian incluye el motor de inferencia y el complemento MYRIAD, es un archivo con archivos de cabecera y bibliotecas preinstalados. Los siguientes componentes están instalados por defecto según (OpenVINO Toolkit, 2019).

Máquina de inferencia: motor que ejecuta el modelo de aprendizaje profundo, incluye un conjunto de bibliotecas para una integración fácil de inferencia en sus aplicaciones (OpenVINO Toolkit, 2019).

OpenCV versión 4.0.0: Versión de la comunidad OpenCV compilada para hardware Intel (OpenVINO Toolkit, 2019).

Aplicaciones de muestra: Un conjunto de aplicaciones de consola simples que muestran cómo usar el Motor de inferencia de aprendizaje profundo de Intel en sus aplicaciones (OpenVINO Toolkit, 2019).

2.10 MobileNet-SSD

MobileNet red neuronal convolucional diseñada por investigaciones en Google.

MobileNet divide la convolución en una convección de profundidad de 3x3 y una convección de punta de 1x1 (Harvey, 2017).

Red neuronal convolucional (CNN), que ha dividido su fase de convolución en dos operaciones más simples y rápidas (Lambert, 2018).

El marco del Detector Multaños (SSD) de disparo único hace posible, identificar todas las zonas que presenta un elemento para clasificar al escanear una imagen (Lambert, 2018).

Al combinar los dos algoritmos, se tiene SSD que permite colocar cuadros en toda la imagen, luego MobileNet los clasifica y hace que el algoritmo sea muy poderoso y útil (Lambert, 2018).

2.11 Convertidores DC/DC – Buck - 6R1ML M252

Circuitos que tienen la capacidad de transformar niveles de tensión en otros usando componentes como capacitores y bobinas, almacenan momentáneamente en ellos y descargándola de forma que los niveles de tensión finales sean los deseados.

En los convertidores Buck el voltaje de salida es menor al voltaje de entrada (Argos, 2015).

Figura 2.7 Convertidor Buck 6R1ML M252



Convertidor Buck como fuente de alimentación para la Raspberry pi 3 b+. (Joom, 2019).

Tabla 2.3 Características 6R1ML M252

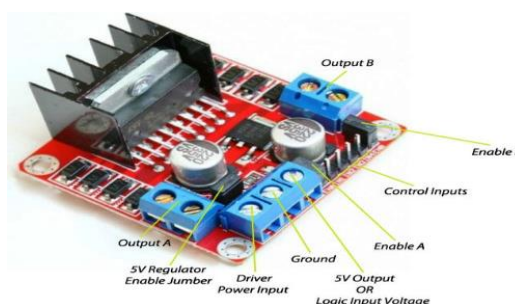
Voltaje de salida	5V
Corriente de salida	5A
Voltaje de entrada	9-35V
Potencia de salida	25W
Modo de Rectificador	Rectificador síncrono
Voltaje bajo de la salida	4V
Tamaño	45x30x15 mm
IN +	Entrada positiva
OUT +	Salida positiva
GND	IN-/OUT-
Eficiencia de conversión	Hasta 95%

Características más relevantes del Convertidor Buck 6R1ML M252, Fuente: (Joom, 2019).

2.12 Drive Puente H L298N

Permite controlar dos motores de corriente continua no mayor a dos amperes, cuenta con un regulador de voltaje LM7805, conectores de salida del motor Output A y Output B, terminales de control inputs para habilitar el motor (Veloso, 2016).

Figura 2.8 Drive L298N



Drive Puente H L298N para el control de los motores, (Veloso, 2016).

Tabla 2.4 Especificaciones Técnicas L298N

Chip	L298N
Canales	2
Voltaje lógico	5V
Voltaje de potencia	5V-35V DC
Consumo de corriente (lógico)	0-36mA
Capacidad de corriente	2A
Potencia máxima	25W
Peso	30g
Dimensiones	43x43x27mm

Especificaciones más relevantes del Drive Puente H L298N, Fuente: (NAYLAMPMECHATRONICS, 2019).

2.13 Arduino Uno

Placa electrónica compuesta por el microcontrolador ATmega328. Dispone de 14 entradas y salidas digitales, 6 pueden ser utilizadas como salidas PWM y las otras 6 son salidas analógicas. Incluye un resonador de 16 MHz, conector USB, conector de alimentación, botón de reseteo (Díaz, 2016).

Figura 2.9 Tarjeta Arduino



Arduino Uno R3, (Diaz, 2016).

Tabla 2.5 Características Arduino Uno

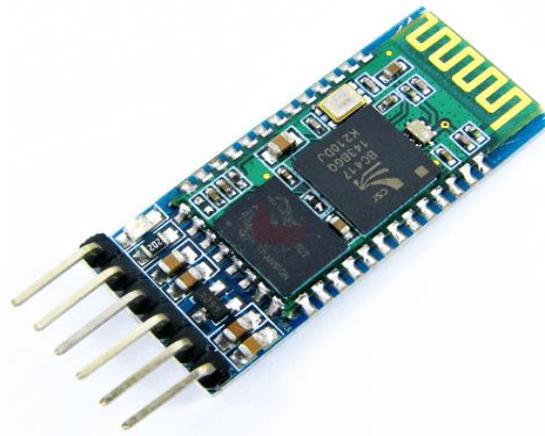
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje recomendado de entrada	7-12V
Voltaje de operación	5V
Voltaje límite de entrada	6-20V
Pines I/O	14
Entradas analógicas	6
DC Current per I/O Pin	40mA
Flash Memory	32 KB
SRAM	2KB
EEPROM	1KB

Características Técnicas más relevantes de Arduino Uno R3, Fuente: (Diaz, 2016).

2.14 Bluetooth HC-05

Tarjeta electrónica que permite transmitir como recibir datos por medio del protocolo Bluetooth tanto en modo Master como Esclavo. Es compatible con Arduino uno, cuenta con un regulador de tensión de 5V a 3.3V y los niveles de tensión de las salidas son compatibles con la lógica TTL (Transistor-Transistor-Logic) (Heras, 2017).

Figura 2.10 Mòdul Bluetooth HC-05



Bluetooth HC-05, (Heras, 2017).

Tabla 2.6 Especificaciones Tècniques Bluetooth HC-5

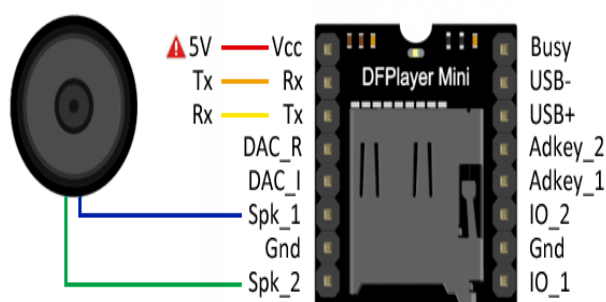
Voltaje de operación	3.6V-6V DC
Consumo de corriente	50mA
Bluetooth	V2.0+EDR
Frecuencia	Banda ISM 2.4 GHz
Potencia de transmisión	4dBm
Alcance	10 metros
Interface de comunicación	Serial TTL
Velocidad de transmisión	1200bps hasta 1.3Mbps
Temperatura de trabajo	-20°C a +75°C
Dimensiones	37x16mm
Peso	3.6 gramos

Especificaciones Tècniques más relevantes del Bluetooth HC-05, Fuente: (NAYLAMPMECHATRONICS, 2019).

2.15 DFPlayer Mini

Reproductor de audio pequeño de bajo costo en el que se puede conectar un procesador como Arduino Uno R3 para reproducir audio en formato MP3 (Llamas, 2017).

Figura 2.11 Esquema DFPlayer Mini



Reproductor de audio DFPlayer Mini, (Llamas, 2017).

Tabla 2.7 Características Mp3-tf-16p

Frecuencias	8, 11.025, 12, 16, 22.05, 24, 32 44.1 y 48 (KHz)
Salida con DAC	24 bits
Actualizador	6 niveles
Relación señal ruido (SNR)	85dB
Micro SD compatible	FAT16 y FAT32
Capacidad máxima	32GB
Niveles de volumen ajustable	30 niveles
Archivos por carpeta	100 carpetas y 255 canciones
Dimensiones	22mm x 22mm x 18mm
Voltaje	3.2 - 5 VDC

Características más relevantes del Módulo Mp3-tf-16p, Fuente: (Llamas, 2017).

2.16 Motor de Engranajes DC

Motor que está acoplado con una caja de transmisión, agrega engranajes mecánicos para cambiar la velocidad (TT MOTOR, 2017).

Este tipo de motores reducen la velocidad y aumentan el par. Un motor de engranajes DC posee un conjunto de engranaje conectado en el motor permitiendo aumentar el par y reducir la velocidad, su velocidad se cuenta en términos de rotación del eje por minuto (RPM) (TT MOTOR, 2017).

2.16.1 Motor de Engranajes DC 8PV017D

Figura 2.12 Motor 8PV017D



Motor de Engranajes DC modelo 8PV017D, Elaborado por: Omar Moromenacho y Jairo Yanguicela (China.cn, 2019).

Tabla 2.8 Características Motor 8PV017D

Tensión nominal	19V
Corriente nominal	0.23A
Potencia nominal	0.23W
Velocidad nominal	143rpm
Par nominal	143NM
Dimensiones	8/15mm
Eficiencia	99%

Características relevantes del Motor de Engranajes DC 8PV017D, Fuente: (China.cn, 2019).

2.17 Cámara Web

Para trabajar con visión artificial se necesita un dispositivo sensible a la luz visible que permita almacenar las imágenes en formato digital (Ochoa, 2015).

La Webcam C170 se puede conectar directamente al ordenador por medio del puerto USB con la cual se puede capturar imágenes y procesarlas (Ochoa, 2015).

Figura 2.13 Cámara Logitech C170



Cámara Logitech con tecnología USB, (THOT Computaciòn, 2019).

La cámara Logitech C170 es reconocida de manera automática por la Raspberry Pi 3 B+ sin la necesidad de instalar un drive, ya que dispone de la característica Plug and Play (Ortega & Sola Marcillo, 2016).

Tabla 2.9 Características Cámara Logitech

Cámara Logitech C170	
Resolución Videoconferencias	640x480 pixeles
Resolución captura de video	Hasta 1024x768 pixeles
Tecnología	Logitech Fluid Crystal
Modelo	960-00094670
Resolución de Fotografía	Hasta 5 megapixeles
Micrófono	Integrado con reducción de ruido
Certificación USB 2.0	De alta velocidad
Compatibilidad	Windows 7 o superior

Características más relevantes de la Cámara Logitech C170, Fuente: (Logitech, 2011).

2.18 Router D-Link DIR-610

Para realizar la conexión remota entre la Laptop y el Lazarillo Robótico que contiene la Raspberry Pi 3 B+ fue necesario implementar un Router que sirve como red para interconectar ambos dispositivos y poner en marcha al Prototipo.

Para el desarrollo del Proyecto se eligió el Router DIR-610 con tecnología Wireless N (intercompras, 2013).

Figura 2.14 Router DIR-610



Router D-Link modelo DIR-610 con tecnología Wireless N, (intercompras, 2013).

Tabla 2.10 Características del Router DIR-610

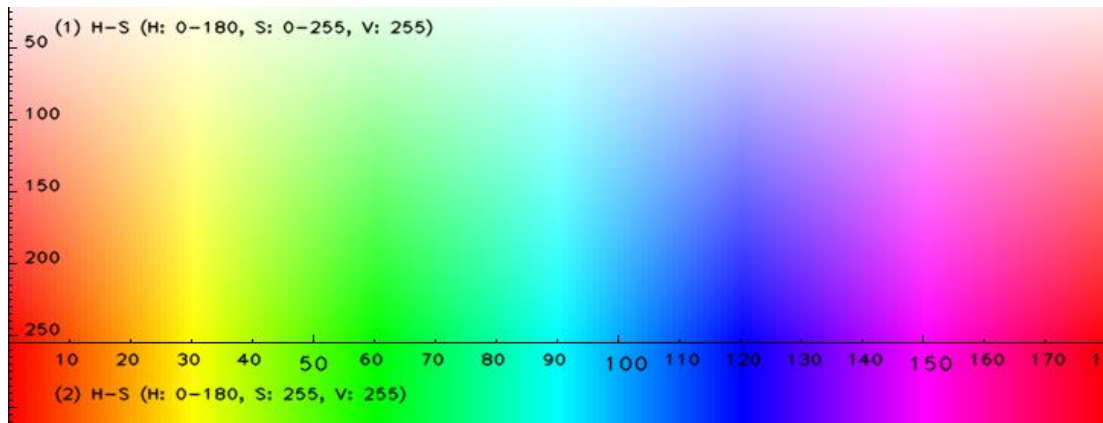
Puertos Ethernet LAN RJ-45	4
Peso	200g
Dimensiones	3,15cm x 14,8cm x 11,3cm
Estándares de red	IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, IEEE 802.3, IEEE 802.3u
Velocidad Inalámbrica	150Mbps
Wi-Fi standard	IEEE 802.11n
Ethernet LAN	10,100 Mbps
Ganancia de la antena (max)	5 dBi

Características más relevantes del Router D-Link modelo DIR-610, Fuente: (intercompras, 2013).

2.19 Modelo de color HSV

Del inglés: Hue, Saturation, Value cuyo significado es Matriz, Saturación, Valor. Este modelo de color permite una segmentación de la imagen de manera más eficiente debido a que permite tener en cuenta condiciones de luminosidad de la imagen y la intensidad del color, esto se consigue separando la componente “*chroma*” que es la que aporta la información del color, la componente “*luma*” aporta la intensidad de color y es muy útil en visión artificial debido a que es un sistema más robusto frente a cambios de luz y para eliminar sombras (González, 2016).

Figura 2.15 Modelo de color HSV



Representación gráfica del modelo de color HSV, (stackoverflow, 2018).

Para el desarrollo de este Proyecto se utilizó el Modelo de color HSV porque la conversión BGR-HSV se encuentra implementada en la biblioteca de OpenCV.

El Modelo de color HSV consta de las siguientes componentes.

Hue (Matriz): Está representado como un ángulo entre 0° y 360° donde cada valor corresponde a un color. OpenCV realiza la conversión de estos valores a escala de valores enteros por ejemplo 0-180, ya que se trata de una imagen de 8 bits y se debe aplicar la siguiente conversión (González, 2016).

$$H \rightarrow \frac{H}{2} (360 \rightarrow 180) \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Saturation (Saturación): Distancia al eje de blanco-negro, los valores están entre 0-100%. OpenCV realiza la conversión a escala de valores enteros 0-255 (González, 2016).

Value (Valor): Altura en el eje blanco-negro, los valores están entre 0 y 100% donde 0 siempre es negro. OpenCV realiza la conversión a escala de valores enteros 0-255 (González, 2016).

2.20 Requerimientos Necesarios a ser instalados en la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 B+

2.20.1 Instalación Del Sistema Operativo Raspbian

Para proceder a instalar el Sistema Operativo Raspbian en la Raspberry pi 3 modelo b+, se debe realizar la descarga desde la página de Raspberry tal como se aprecia en la Figura 2.16.

Figura 2.16 Sistema Operativo Raspbian



Imagen del Sistema Operativo Raspbian basado en Debian Stretch. (RaspberryPi, 2019).

El siguiente paso es montar la imagen en la MicroSD y se utiliza el programa Win32DiskImager como observar en la Figura 2.17.

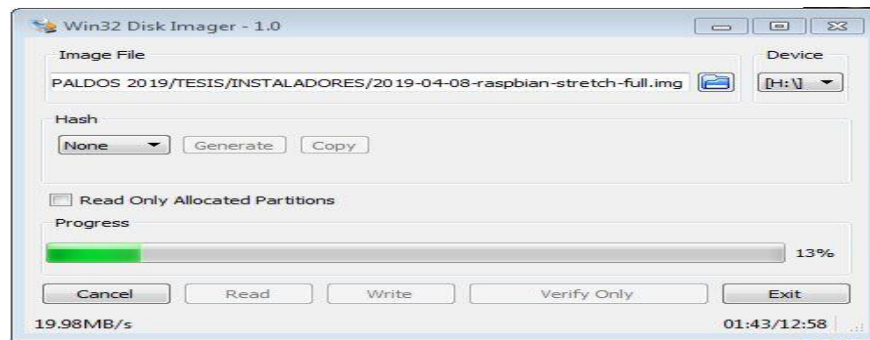
Figura 2.17 Win32DiskImager



Software para grabar imágenes en la MicroSD. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

Seleccionar la imagen del Sistema Operativo Raspbian a instalar y el dispositivo donde se va a realizar la instalación. Después de seleccionar la imagen y el destino se procede a su respectiva instalación tal como se aprecia en la Figura 2.18.

Figura 2.18 Escritura del Drive Correcto



Escritura de la imagen con el Software Win32 Disk Imager. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

2.20.2 OpenVINO Para el Sistema Operativo Raspbian

1. Descargar el kit de herramientas OpenVINO para el Sistema Operativo Raspbian desde la página de INTEL como se puede observar en la Figura 2.19.

Figura 2.19 Kit OpenVINO



Herramientas OpenVINO para Raspbian. (INTEL, 2019).

2. Abrir la Terminal de Raspbian e ir al directorio donde se descargó el kit de herramientas OpenVINO mediante el siguiente comando.

```
cd ~/Downloads//
```

3. Crear una carpeta de instalación mediante el siguiente comando.

```
sudo mkdir -p /opt/intel/openvino
```

4. Desempaquetar el archivo.

```
sudo tar -xf l_openvino_toolkit_raspbi_p_2018.5.445.tgz --strip 1 -C /opt/intel/opencvino
```

5. Modificar el setupvars.shscript reemplazando <INSTALLDIR>con la ruta absoluta a la carpeta de instalación.

```
sudo sed -i "s|<INSTALLDIR>|/opt/intel/opencvino|" /opt/intel/opencvino/bin/setupvars.sh
```

6. Actualizar las variables de entorno antes de compilar y ejecutar aplicaciones del kit de herramientas OpenVINO.

```
source /opt/intel/opencvino/bin/setupvars.sh
```

7. Agregar el usuario actual de Linux al grupo de usuarios.

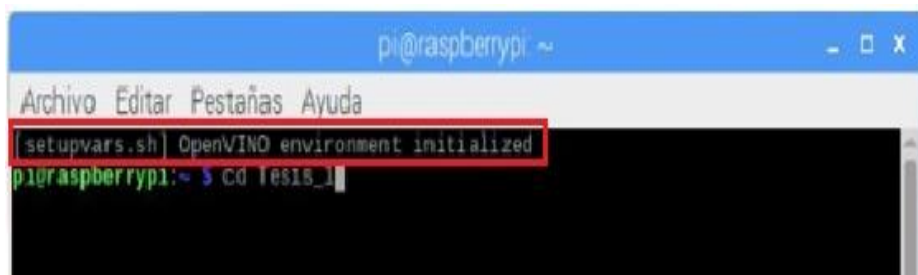
```
sudo usermod -a -G users "$(whoami)"
```

8. Instalar las reglas USB que ejecutan el install_NCS_udev_rules.shscript, para realizar la inferencia en Intel Neural Compute Stick 2.

```
sh /opt/intel/opencvino/install_dependencies/install_NCS_udev_rules.sh
```

Para verificar que la instalación de OpenVINO en el Sistema Operativo Raspbian fue exitoso, al abrir el terminal debe indicar que el mismo ha inicializado correctamente, como se puede apreciar en la Figura 2.20.

Figura 2.20 Instalación correcta de OpenVINO



Verificación que OpenVINO ha inicializado. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

2.20.3 Convertir texto a voz en Python

Para realizar las instrucciones mediante audio se realizó la instalación de la biblioteca gTTS que es compatible con Python y se guarda en formato MP3.

Se debe instalar abriendo una Terminal de Raspbian mediante el siguiente código.

```
sudo pip install gTTS
```

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

En el presente capítulo se detalla el procedimiento para poner en funcionamiento el prototipo robótico apoyado de visión artificial para el guiado de personas invidentes. Para el detalle se divide en diferentes partes como es el proceso de diseño del sistema de visión artificial, en sus diferentes etapas; la programación del software utilizando algoritmos de visión artificial para la detección de objetos y regiones, la compilación de las tarjetas de desarrollo para hacerlas autónomas y la implementación del hardware (electrónico y mecánico) necesario para que el prototipo cumpla con el guiado de personas invidentes.

3.1 Diagrama estructural del prototipo móvil

En el diagrama estructural del prototipo se muestra los elementos principales que conforman al prototipo. El cual se divide en Hardware y Software

3.2 Hardware

Conforma la parte mecánica (diseño), implementación, sistema electrónico el que para cumplir con normas de prototipos están en PCBS (Printed Circuit Boards).

3.3 Diseño Hardware

El Diseño del lazarillo robótico se conforma de la estructura mecánica que albergará un sistema electrónico donde con las conexiones apropiadas pondrán en marcha al prototipo según lo programado. Juntos determinan la forma, tamaño y el funcionamiento del lazarillo robótico.

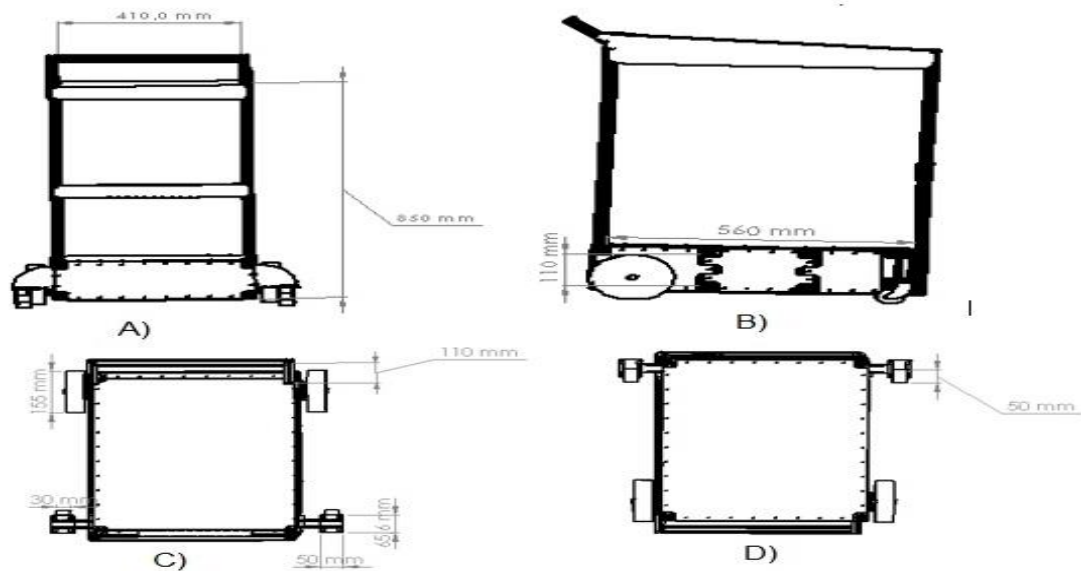
3.4 Estructura Mecánica

Para el diseño de la estructura mecánica se toma como base los coches de compras de un supermercado para el guiado de la persona invidente. El material elegido para la estructura es la barra de aluminio que con su rigidez hará que el prototipo sea resistente. Para los demás detalles de la estructura mecánica se eligió el MDF (Fibra de Densidad Media) material de bajo costo y práctico.

3.4.1 Diseño de la Estructura Mecánica

Para el diseño de la estructura mecánica se realiza detalles como es el tamaño y ubicación de los elementos electrónicos y mecánicos para el diseño del chasis. Se eligió el sistema de locomoción con ruedas porque es la mejor elección para aplicaciones terrestres de robots móviles. De este modo se determinó la forma y tamaño del chasis del lazarillo robótico con las medidas que se muestra en la Figura 3.1 que se diseñó en el software SolidWorks.

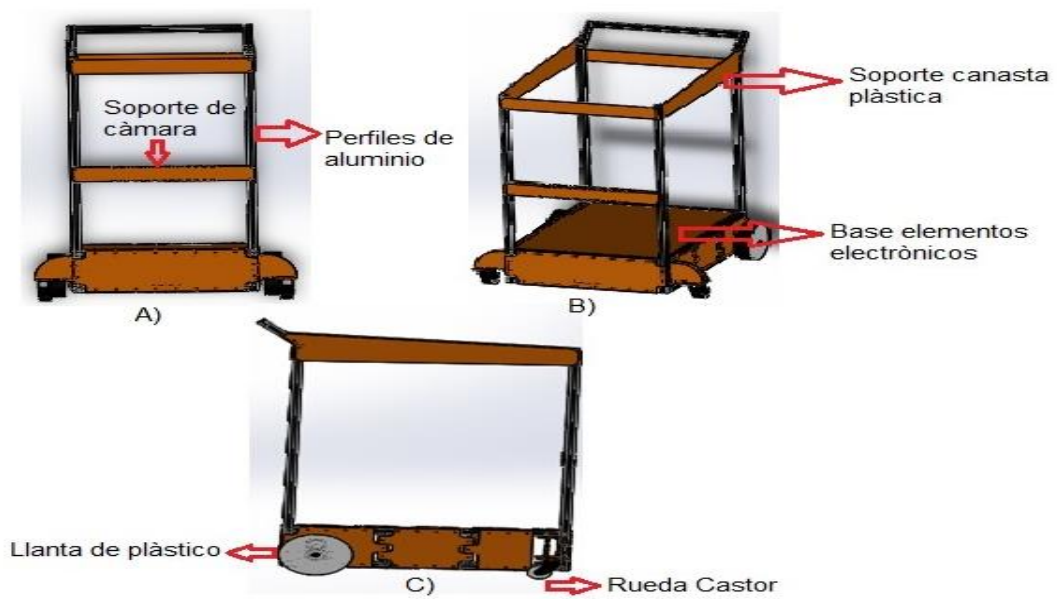
Figura 3.1 Diseño Lazarillo Robótico



A) Vista Frontal, B) Vista Lateral Izquierda, C) Vista Superior, D) Vista Inferior. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

La construcción del chasis se realizó con perfiles rectangulares de aluminio, la carcasa está construida en madera de tipo MDF de 3mm con el objetivo reducir el peso del lazarillo robótico, los cortes de la madera MDF fueron realizados a laser como se puede observar en la Figura 3.2.

Figura 3.2 Distribución general de los elementos



A) Vista Frontal, B) Vista Dimétrica Frontal Derecha, C) Vista Lateral Izquierda. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

3.4.2 Diseño de Acople Motor-Llanta

Para un mejor acople entre la estructura metálica, motor y la llanta se ha realizado un bocín en cada rueda, tal como se observa en la Figura 3.3

Figura 3.3 Acople del motor



Acople del motor a la llanta. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

3.5 Sistema Electrónico

La construcción y diseño del lazarillo robótico para el guiado de personas invidentes se da en base al diagrama presentado en la Figura 3.4.

Figura 3.4 Arquitectura del Sistema

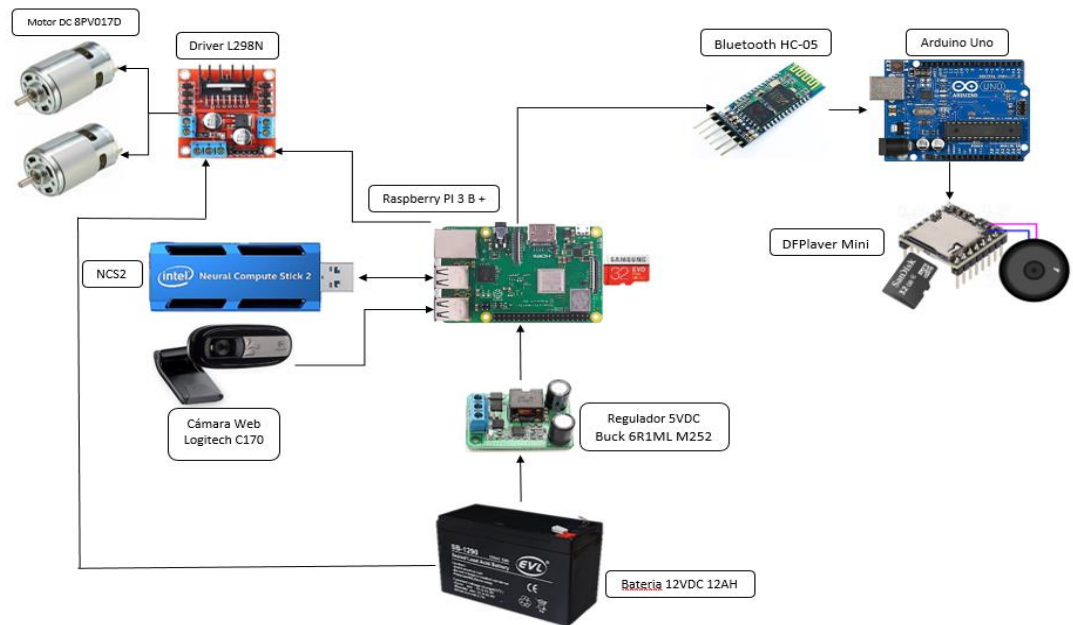


Diagrama de bloques general del prototipo Lazarillo Robótico, Elaborado por: Omar Moromenacho, Jairo Yanguicela.

En la Figura 3.4, se muestra que la tarjeta de desarrollo escogida para el prototipo que es la Raspberry Pi 3B+ es la que controla todo el sistema, se alimenta con 5V que provienen de la batería seca de 12V 12AH.

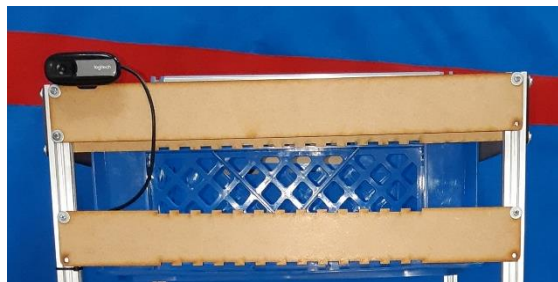
El bloque de entrada corresponde a nuestro único sensor que es la cámara Logitech C170 la que permite captar todas las imágenes del entorno para ser procesados de forma paralela entre la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 B+ y el NCS 2. Después del proceso se debe pasar al bloque de salida que conforma la etapa de potencia en el que el driver con señales específicas provenientes de la tarjeta de desarrollo moverán los motores de acuerdo a lo programado para guiar a la persona invidente y la etapa de comunicación con la persona invidente para lo cual se eligió la tarjeta Arduino para realizar la reproducción de audios dando indicaciones al usuario del movimiento del lazarillo, tales indicaciones son enviadas vía Bluetooth desde la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 B+.

Las características de cada uno de los elementos que constan en el diagrama general del Lazarillo Robótico de la Figura 3.4 se detallan en el Capítulo 2.

3.5.1 Sistema Sensorial

El Sistema Sensorial es fundamental en el desarrollo del Lazarillo Robótico ya que es el único elemento que brinda datos necesarios para el funcionamiento del mismo. Para lo cual es necesario utilizar una cámara web compatible con la tarjeta Raspberry PI 3 B+. Por los movimientos que realizará el lazarillo robótico se utilizó una cámara como sensor de imagen, la cual adquiere imágenes del entorno en el que se encuentra el Lazarillo Robótico. Para el Lazarillo Robótico se eligió la Cámara web Logitech C170 que al tener la característica de Plug and Play su reconocimiento en la Raspberry PI 3 B+ será de forma automática sin la necesidad de drivers de instalación para su funcionamiento.

Figura 3.5 Cámara web Logitech C170



Colocación de la Cámara web en el Prototipo Robótico. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

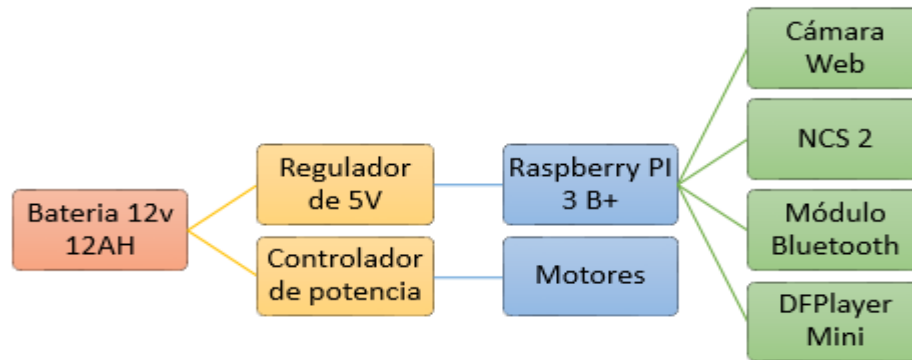
3.5.2 Sistema de Alimentación y autonomía del Lazarillo Robótico

Para la alimentación del Lazarillo Robótico se ha utilizado una batería seca de 12V 12AH que será utilizada para el sistema de control y para el sistema de potencia que está conformado por el driver y los motores.

La capacidad de la batería se mide en amperios hora (AH) y es la indicación de la corriente que se puede extraer o consumir de la batería en una hora hasta que se descargue por completo. Por lo tanto, se eligió una batería de 12AH como ya se ha mencionado, la misma que dará autonomía al Lazarillo Robótico de unas dos horas.

En la Figura 3.6 se detalla el sistema de alimentación.

Figura 3.6 Sistema de Alimentación



Etapas de alimentación para los elementos electrónicos del Lazarillo Robótico. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

La Raspberry PI 3 B+ se alimenta con 5VDC por lo que como regulador se eligió el Convertidor Buck 6R1ML M252 que sus características se detalla en el Capítulo 2.

Como controlador de potencia se ha elegido el Drive L298N, el cual al recibir las señales de accionamiento suministra el voltaje y corriente necesario para el arranque de los motores, las características del driver se detallan en el Capítulo 2.

3.5.3 Sistema de Comunicación

Para el envío de datos se utilizó la comunicación Bluetooth desde el Lazarillo Robótico hacia la persona invidente, ya que de acuerdo a las instrucciones que realizará el prototipo para el guiado de personas invidentes deberá ser en tiempo real y dichas instrucciones deben ser claras y entendibles. Se utilizará mensajes de voz que será reproducido por el RF Player para la indicación de instrucciones.

3.6 Implementación de Hardware

En la Figura 3.7 se muestra el hardware del lazarillo robótico con la estructura mecánica totalmente terminada como se presentó en el diseño de la Figura 3.2.

Figura 3.7 Estructura Mecánica del Lazarillo Robótico

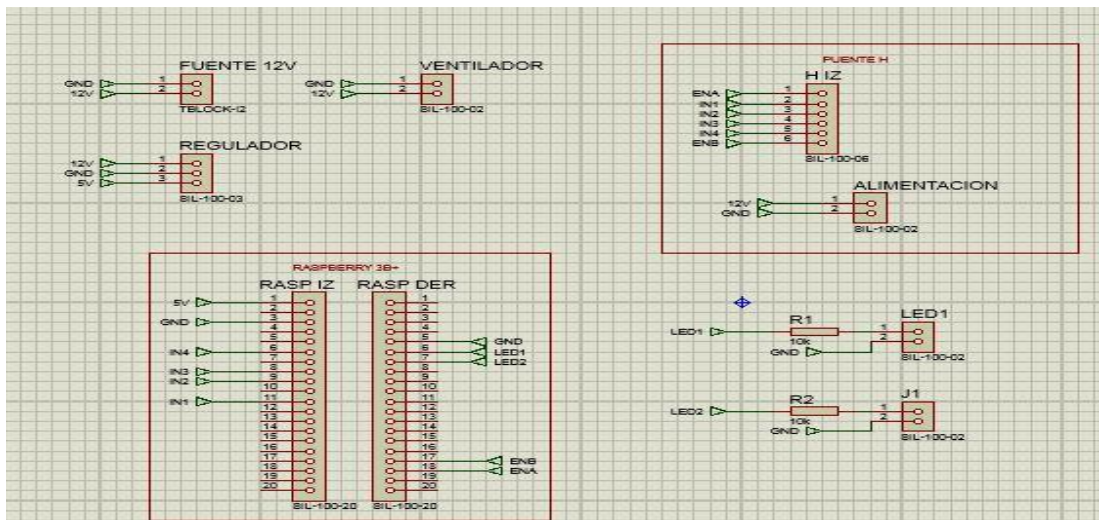


Estructura Mecánica final del Lazarillo Robótico. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

3.6.1 Diseño de la Placa Electrónica para la conexión de los módulos

Se detalla cómo se conforma la placa electrónica para la interconexión de los módulos, fue diseñada en el Software Proteus. En la Figura 3.8 se muestra el diseño del circuito electrónico que contiene a la Raspberry Pi 3 B+, el Convertidor Buck 6R1ML M252, Puente H L298N y la Fuente de 12V que alimenta a todo el sistema.

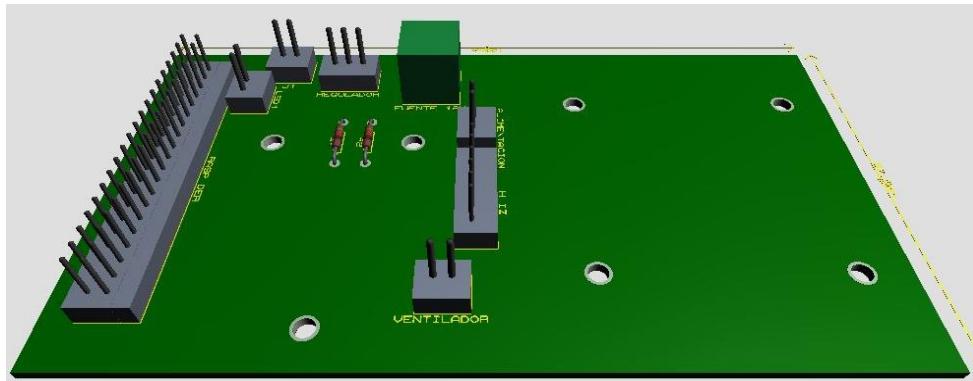
Figura 3.8 Circuito para la conexión de módulos



Diseño del circuito para la conexión de módulos electrónicos. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

En la Figura 3.9 se presenta el circuito diseñado y finalizado de la placa Electrónica en 3D diseñada en el Software Proteus.

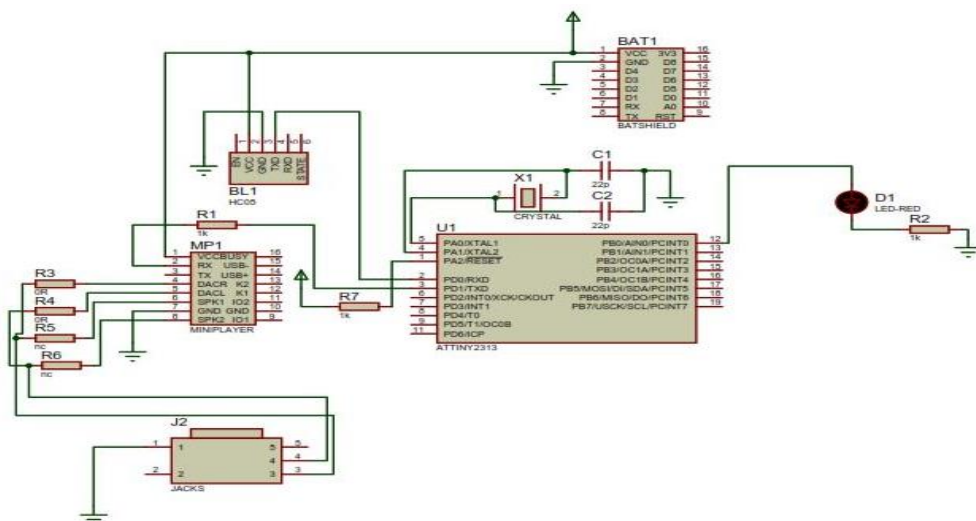
Figura 3.9 Diseño de la placa para conexión de módulos



Placa electrónica vista en 3D. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

En la Figura 3.10 se muestra el diseño del circuito electrónico para la interconexión de los módulos para el sistema de comunicación entre el Lazarillo Robótico y la persona invidente.

Figura 3.10 Circuito de Comunicación



Diseño del circuito de comunicación. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

3.7 Etapas de Visión Artificial

Con la ayuda del Kit de OpenVino instalado en el Sistema Operativo Raspbian cuando se está procesando un flujo de video, comienza analizando imagen por imagen y al

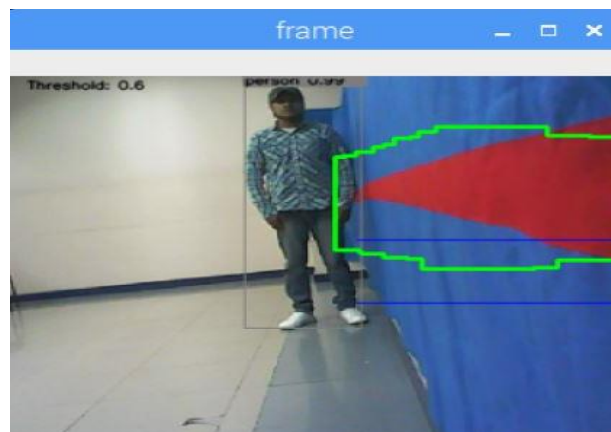
examinar una imagen llama a las operaciones de detección, clasificación y segmentación como operaciones por fotograma.

3.7.1 Detección

El objetivo es detectar objetos específicos de una imagen, la salida será una lista de coordenadas de cuadros delimitadores para cada uno de los objetos detectados en la imagen.

Se dibuja los cuadros delimitadores alrededor del objeto y crea una imagen más pequeña del objeto y lo envía a un clasificador para verificar cuál es ese objeto tal como se indica en la Figura 3.11, el rectángulo de color negro encierra al objeto la reconoce como persona.

Figura 3.11 Operación de Detección



Detección del objeto persona con el kit de OpenVino. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

3.7.2 Clasificación

Mediante la clasificación se puede saber que objetos están en la imagen a través de una lista de etiquetas y la salida es un vector de probabilidad para cada una de las etiquetas, se necesita clasificar las probabilidades y mostrar las más altas junto con la etiqueta correspondiente con mayor probabilidad tal como se muestra en la anterior Figura 3.11 en el rectángulo de color negro en la parte superior se indica la etiqueta que es una persona con la probabilidad 0.99.

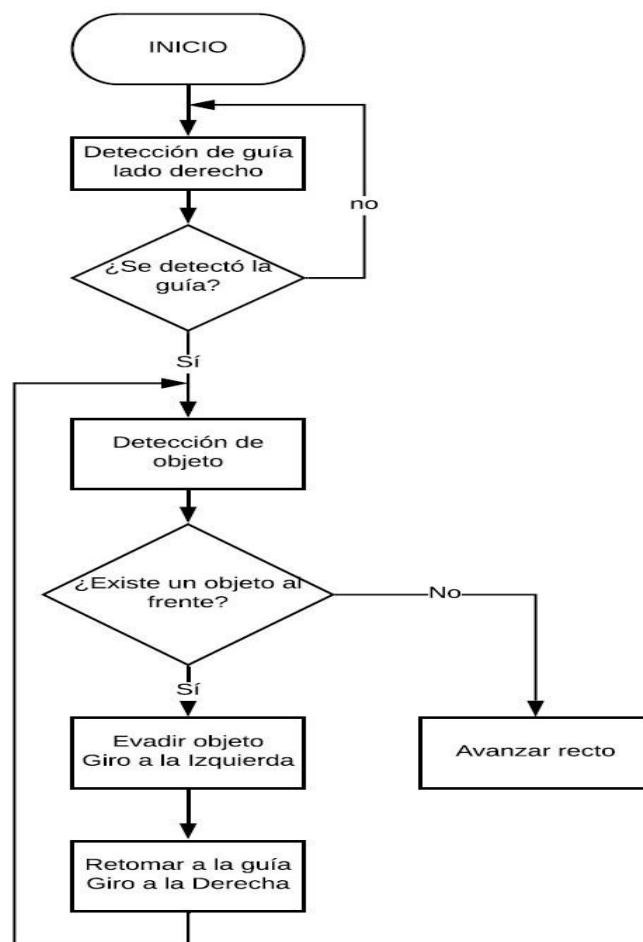
3.7.3 Segmentación

La segmentación es una etiqueta por cada uno de los píxeles, si se quiere colorear cada uno de los píxeles con un color diferente por ejemplo una persona, una pelota, esta operación es más intensiva en cómputo.

3.8 Software

Para el desarrollo del Software del Lazarillo Robótico se describe mediante diagramas de flujo de los algoritmos que se utilizó para que el Lazarillo Robótico cumpla con la autonomía inicialmente propuesta. Los algoritmos procesan la información que capta el sensor de imagen del entorno en el que se encuentra. En la Figura 3.12 se observa el flujograma del funcionamiento del Lazarillo Robótico.

Figura 3.12 Diagrama de Flujo Lazarillo Robótico



Lógica general del funcionamiento del Lazarillo Robótico. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

3.8.1 Algoritmo detección de objetos

Para el reconocimiento de objetos se realiza con un procesamiento en paralelo entre la Raspberry PI 3 B+ y el NCS2, de esta forma el nivel de procesamiento queda compartido, la Raspberry PI 3 B+ adquiere los datos del sensor de imagen y en conjunto con el NCS2 se determina si los datos que adquirió el sensor de imagen corresponden a objetos que el Lazarillo Robótico debe evadir.

El NCS2 determina qué tipo de objeto es el captado por el sensor de imagen con el modelo de la Red Neuronal pre entrenado para el NCS2 que previamente fue descargado. En la Figura 3.13 se muestra como es llamado el modelo de la Red Neuronal en el proceso de reconocimiento de objetos.

Figura 3.13 Proceso de reconocimiento de objetos

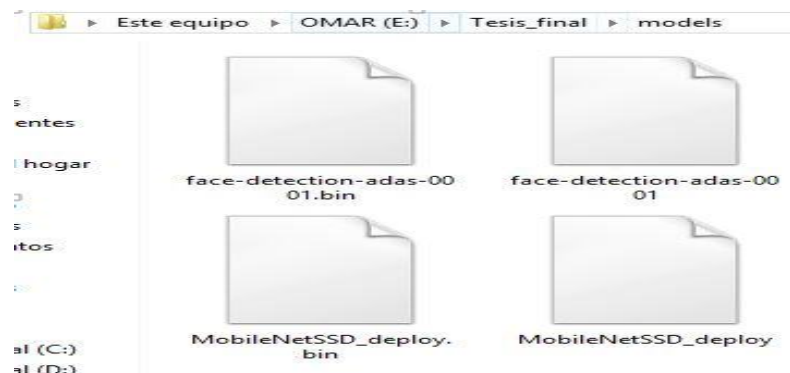
```
print("[INFO] starting motion handling process...")
p2 = Process(target=motion, args=(xminQueue, xmaxQueue, xminQueue1, xmaxQueue1, xminQueue2, xmaxQueue2,
yminQueue, ymaxQueue))
p2.daemon = True
p2.start()

# Load the model
net = cv2.dnn.readNet('models/MobileNetSSD_deploy.xml', 'models/MobileNetSSD_deploy.bin')
```

Modelo de red neuronal para el reconocimiento de objetos. Elaborado por Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

El modelo de la Red Neuronal es un archivo IR que consta de un .XML y .BIN tal como indica la Figura 3.14.

Figura 3.14 Archivo IR



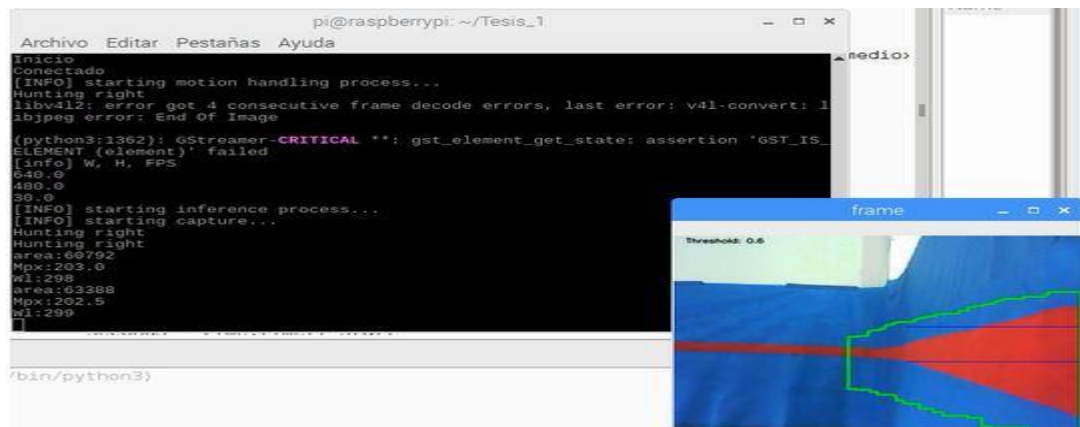
Archivo IR. Elaborado Por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

3.8.2 Algoritmo detección de color

El algoritmo de detección de color es de utilidad para el guiado que realizará el Lazarillo Robótico a la persona invidente.

La guía que se ha elegido es una línea de color rojo que deberá estar siempre en el entorno en el que se encuentra el Lazarillo Robótico, la guía debe ser captada por el sensor de imagen y ubicada en el frame aproximadamente en la mitad del mismo. En la Figura 3.15 se observa la detección de la guía, en la que su área es encerrada en color verde.

Figura 3.15 Detección de la línea guía



Detección de la línea de color rojo. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

Para calibrar los diferentes tonos que el sensor de imagen captará la línea guía se ha utilizado el modelo de color HSV, para lo cual se ha inicializado una matriz para el Rojo alto y una matriz para el Rojo bajo, como se observa en la Figura 3.16.

Figura 3.16 Matrices de color

```
redBajol=np.array([0,160,160],np.uint8)
redAltol=np.array([6,255,255],np.uint8)
frameHSV=cv2.cvtColor(frame,cv2.COLOR_BGR2HSV)
maskRed=cv2.inRange(frameHSV,redBajol,redAltol)
```

Matrices de color para el modelo HSV. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

Con tal inicialización la detección de la línea de color rojo será amplia, ya que se puede variar la luz del entorno en el que se encuentra el Lazarillo Robótico y la detección

será exitosa. Los valores que corresponde a HSV de la matriz para Rojo alto y Rojo bajo se determinó en base a la Figura 2.15 (Figura del capítulo 2).

Si no se detecta la línea guía de color rojo, el lazarillo no empezará el guiado a la persona invidente ya que de acuerdo al Diagrama de flujo de la Figura 3.12 la línea guía es fundamental para que el Lazarillo Robótico entienda que se encuentra en un entorno donde pueda realizar el guiado a la persona invidente.

3.8.3 Algoritmo de comunicación

Una vez que el proceso de detección del objeto sea exitoso, la Raspberry PI 3 B+ que es quien controla el Lazarillo Robótico, eso significa que da instrucciones de guiado (giros), al mismo tiempo con comunicación serial se envía estas instrucciones al Microcontrolador, que convierte la instrucción enviada por la Raspberry PI 3 B+ en mensajes de voz, la reproducción de este mensaje de voz se realiza con la ayuda del módulo RF Player que en su ranura de almacenamiento contiene una micro SD en la que se almacena los archivos .MP3 a ser reproducidos de acuerdo a la instrucción recibida.

3.9 Acceso Remoto a la Raspberry Pi 3 B+

Los dispositivos necesarios para realizar el acceso remoto son el router como administrador de la red, laptop y el lazarillo robótico se pueden comunicar por este medio permitiendo ahorrar recursos de procesamiento. Esto es posible a que el Sistema Operativo Raspbian tiene instalado el protocolo SSH (Secure Shell) y al escritorio virtual VNC (Virtual Network Computer). Se puede conectar hacia la Raspberry Pi a través de la red mediante una Laptop o PC.

Figura 3.17 Acceso remoto a la Raspberry Pi



Conexión remota desde la Laptop hacia la Raspberry Pi que reposa en Lazarillo Robótico. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

En la Raspberry Pi 3 B+ se debe instalar un Software para que trabaje como servidor y en la Laptop otro Software para que trabaje como cliente esto permite que haya conexión entre servidor (Raspberry Pi 3 B+) y cliente (Laptop).

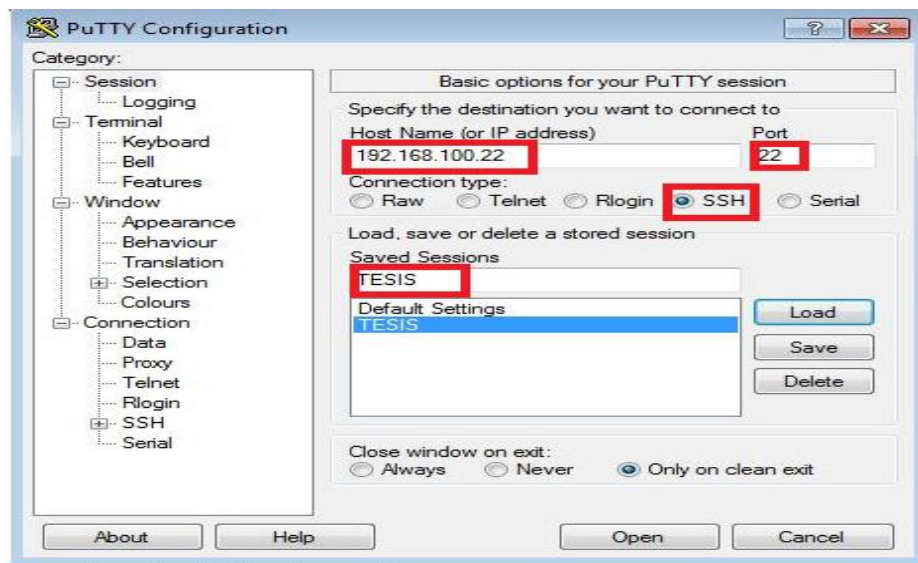
3.9.1 Software para el Cliente (Laptop)

Putty cliente SSH y telnet de código abierto que se descarga de la página oficial (link: <https://www.putty.org/>).

En la interfaz de Putty se debe colocar en la caja de texto Host Name (or IP address) la dirección IP que el router ha proporcionado a la Raspberry Pi en nuestro caso es 192.168.100.22, comprobar que el puerto sea 22. En Connection type debe estar marcado la opción SSH.

Para guardar la configuración y no tener que introducir los datos de nuevo en cada sesión se escribe un nombre, en nuestro proyecto es TESIS en la opción Saved Sessions, se pulsa Save y Open, finalmente Load para cargar la configuración. En la Figura 3.18 se muestra todas las opciones para configurar Putty.

Figura 3.18 Ventana de configuración de Putty



Configuración de acceso SSH al dominio TESIS. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

Se mostrará una pantalla en negro donde se pide las credenciales para poder conectarse con la Raspberry Pi.

Estas credenciales son las que se debe introducir para acceder a la Raspberry Pi en local, en la opción *login as:* introducir pi, en *pi@192.168.100.22's password:* colocar la contraseña que en nuestro caso es “atr4321” y mediante el comando `tightvncserver` nos permite ingresar al servidor como se aprecia en la Figura 3.19.

Figura 3.19 Terminal Putty

```
login as: pi
pi@192.168.100.22's password:
Linux raspberrypi 4.19.42-v7+ #1219 SMP Tue May 14 21:20:58 BST 2019 armv7l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

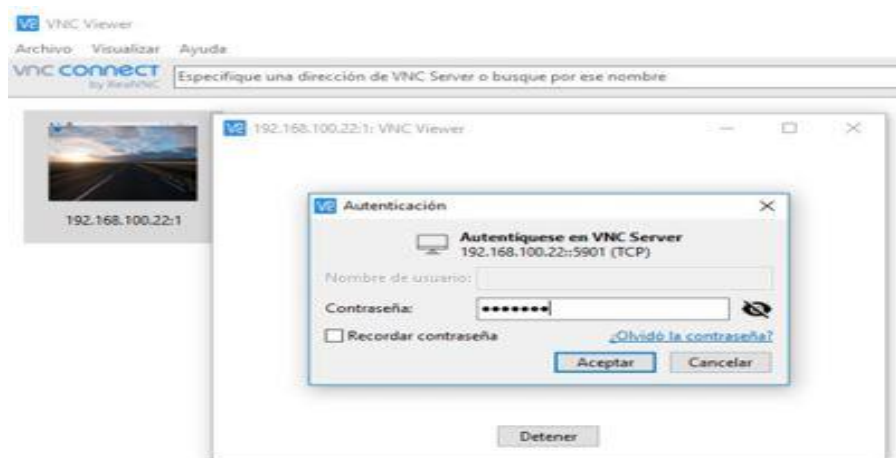
Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Sat Jun 15 10:47:13 2019 from 192.168.100.33
[setupvars.sh] OpenVINO environment initialized
pi@raspberrypi:~$ tightvncserver
```

Inicio de sesión SSH con nombre pi y contraseña art4321. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

VNC Viewer software que permite establecer el escritorio remoto y se lo descarga de la página oficial (link: <https://www.realvnc.com/es/connect/download/viewer/>).

Para visualizar la interfaz se ejecuta VNC Viewer como se indica en la Figura 3.20 se coloca la dirección IP de la Raspberry Pi y el puerto en que escucha VNC Viewer 5901. Posteriormente se pedirá la clave que en nuestro caso es “ATR4321” para ingresar al entorno virtual.

Figura 3.20 Ventana VNC Viewer



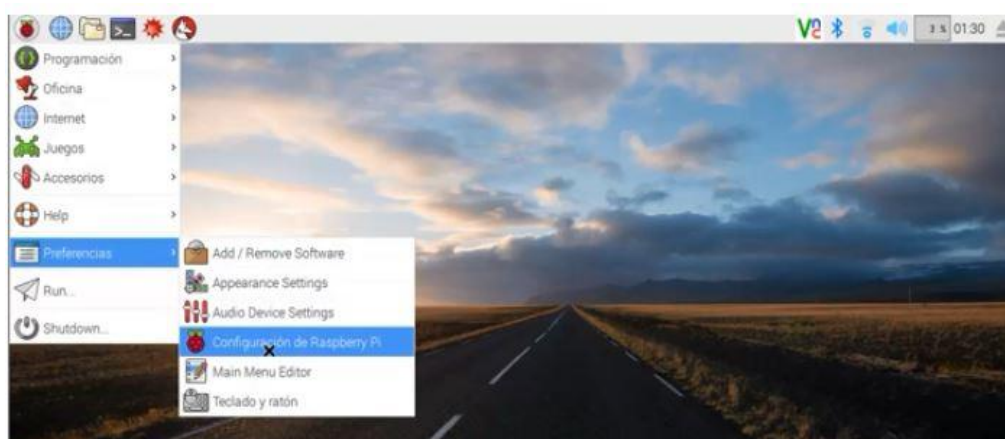
Configuración de la interfaz gráfica de VNC Viewer con contraseña ATR4321. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

3.9.2 Software para el servidor (Raspberry Pi 3 B+)

Al tener instalado el Sistema Operativo Raspbian en la Raspberry Pi, VNC ya viene instalado por defecto, para activarlo se debe realizar los siguientes pasos.

Ir a Preferencias y posteriormente a Configuración de Raspberry Pi como se muestra en la Figura 3.21.

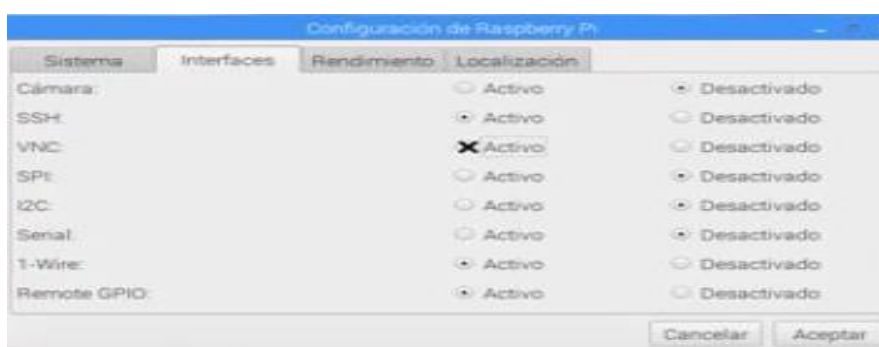
Figura 3.21 Configuración de Raspberry Pi



Proceso de configuración de Raspberry Pi. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

En Interfaces seleccionar la opción Activo en VNC tal como se muestra en la Figura 3.22, Aceptar y reiniciar la Raspberry Pi con el comando `sudo reboot`.

Figura 3.22 Activación de VNC



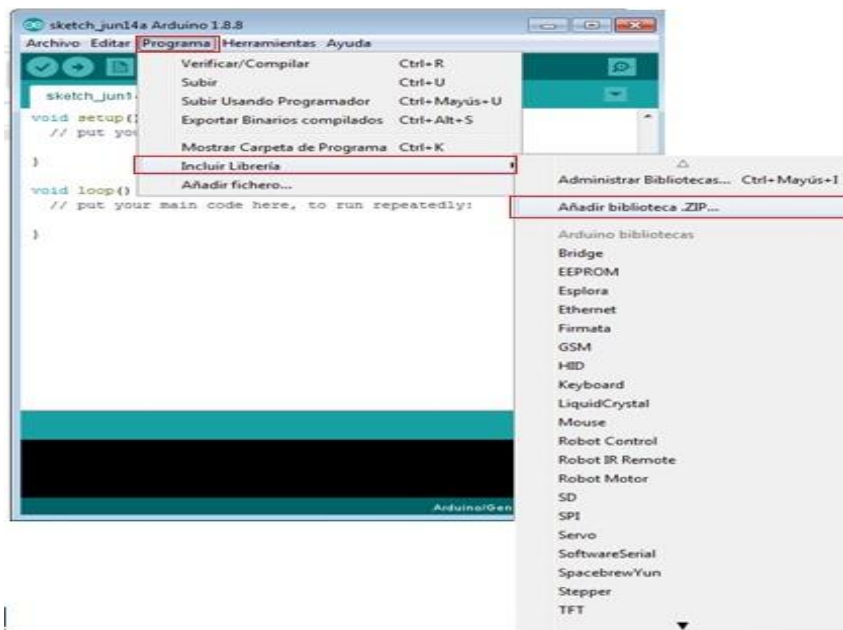
Activación de VNC Viewer en la Raspberry pi 3 b+. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

3.10 Instalación de la Librería DFRobotDFPlayerMini en Arduino

Se debe descargar la librería que se encuentra en el siguiente link: https://wiki.dfrobot.com/DFPlayer_Mini_SKU_DFR0299#Connection_Diagram, está en formato ZIP.

Abrir el IDE de Arduino y hacer click en Programa, Incluir Librería y Añadir biblioteca .ZIP.

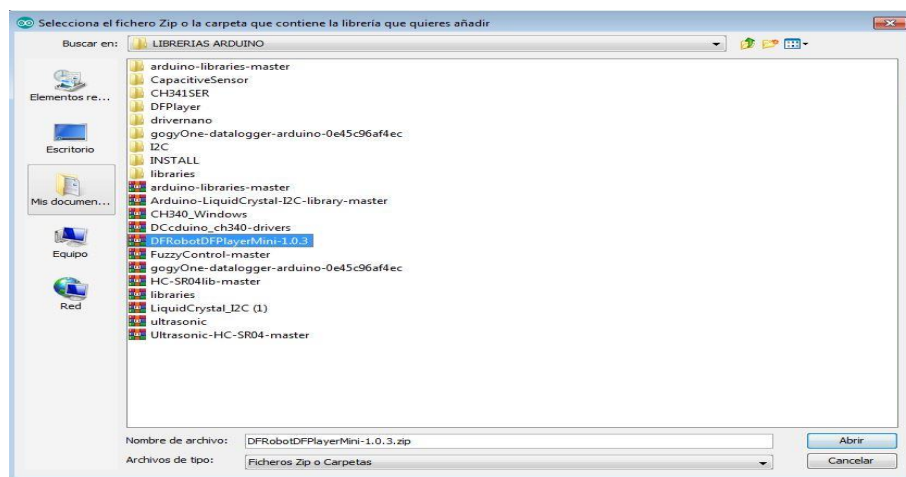
Figura 3.23 Incluir librería dentro del Software Arduino



Opción para agregar la librería DFRobotDFPlayerMini para la comunicación con el módulo Mp3-tf-16p. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

Se indicará la pantalla donde se debe seleccionar la ruta del archivo .ZIP que contiene la librería de Arduino, seguidamente se elige el archivo .ZIP y dar click en seleccionar.

Figura 3.24 Selección del archivo .ZIP



Instalación de la librería DFRobotDFPlayerMini en Arduino. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS

Terminado el prototipo tanto hardware como software se realizó el armado del entorno para las pruebas de funcionamiento como indica la Figura 4.1.

Figura 4.1 Armado del Entorno de Pruebas



Entorno para pruebas de funcionamiento del Lazarillo Robótico. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

Se realizó una breve introducción a los estudiantes del Colegio Leonardo Ponce Pozo sobre el funcionamiento del prototipo, los estudiantes realizaron las pruebas de funcionamiento en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur como se indica en la Figura 4.2 y posterior a las pruebas se les realizó una encuesta de siete preguntas sobre el prototipo.

Figura 4.2 Funcionamiento del Prototipo



Pruebas de funcionamiento del Lazarillo Robótico con estudiantes del Colegio Leonardo Ponce Pozo. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

Se decidió tomar en cuenta la participación del Docente Tutor para tener una opinión sobre el funcionamiento de validez del Lazarillo Robótico, tal como se muestra en la Figura 4.3.

Figura 4.3 Funcionamiento del Lazarillo Robótico con el Docente



Prueba de funcionamiento con el Docente Tutor José Rumipamba. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

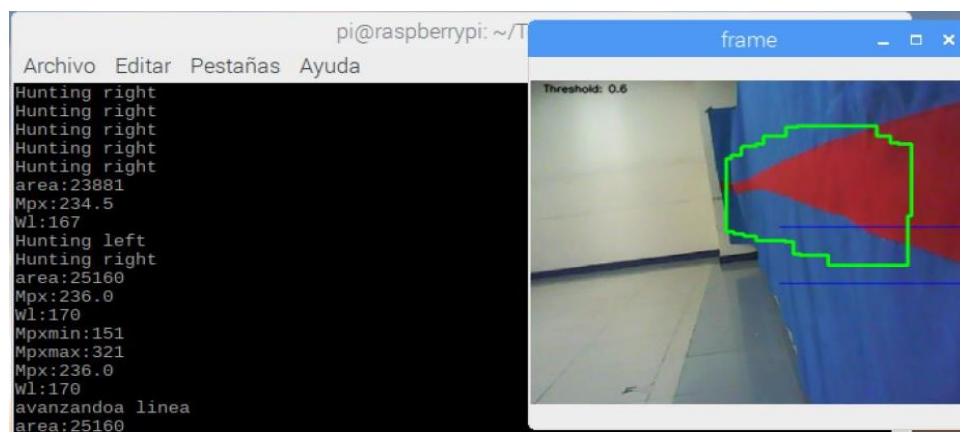
4.1 Diseño Físico del Lazarillo Robótico

Con la idea de asemejar el prototipo con los coches de compras de un supermercado se ha realizado un diseño lo más parecido a los coches mencionados para que la persona invidente se haga la idea del lugar en donde va a realizar las pruebas de funcionamiento. La estructura del prototipo tiene dimensiones en las que la persona invidente no tendrá problemas al utilizar como guía, también está en la capacidad de realizar giros libremente ya que cuenta con ruedas locas en la parte delantera.

4.2 Pruebas de detección de línea guía

Corresponde al inicio del funcionamiento del Lazarillo Robótico, ya que para asegurarse que se encuentra en el entorno donde va a realizar el guiado a la persona invidente debe detectar la línea guía de color rojo, para lo cual se llama a la función `def huntright`, la que hace girar el prototipo al lado derecho hasta la detección de la guía. Una vez que se haya detectado se encierra dentro de un cuadrado tal como se puede visualizar en la Figura 4.4.

Figura 4.4 Detección de la línea guía



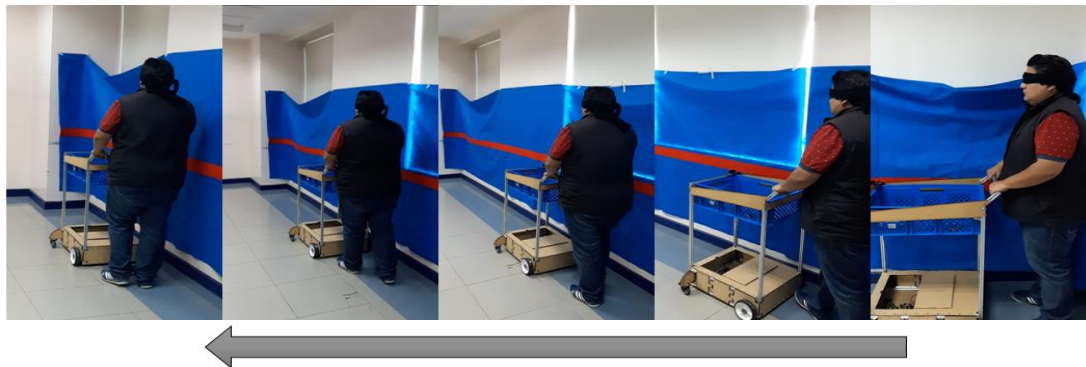
Detección de la línea guía de color rojo para el funcionamiento del Lazarillo Robótico. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

4.3 Pruebas de guiado sin objetos frente al prototipo

El lazarrillo Robótico una vez que detecta la guía procede a la detección de objetos, de no encontrar los mismos frente a él, guiará a la persona de forma recta informándole por el medio de comunicación el sentido en el que se está moviendo el lazarrillo en este

caso “Avanzando”. En la Figura 4.5 se muestra el funcionamiento del guiado sin obstáculos frente al prototipo.

Figura 4.5 Guiado de la persona sin obstáculo



Funcionamiento del Lazarillo Robótico sin obstáculo. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

4.4 Pruebas de guiado con objetos frente al prototipo

El lazarrillo Robótico una vez que detecta la guía procede a la detección de objetos, de encontrar los mismos frente a él, inmediatamente dará la orden de giro a la izquierda para evadir a la persona, una vez que evade a la persona el prototipo para continuar con el guiado debe encontrar nuevamente la línea guía, lo hará girando a la derecha y una vez encontrada la guía continuará de forma recta. En la Figura 4.6 se muestra el funcionamiento del guiado con personas frente al prototipo.

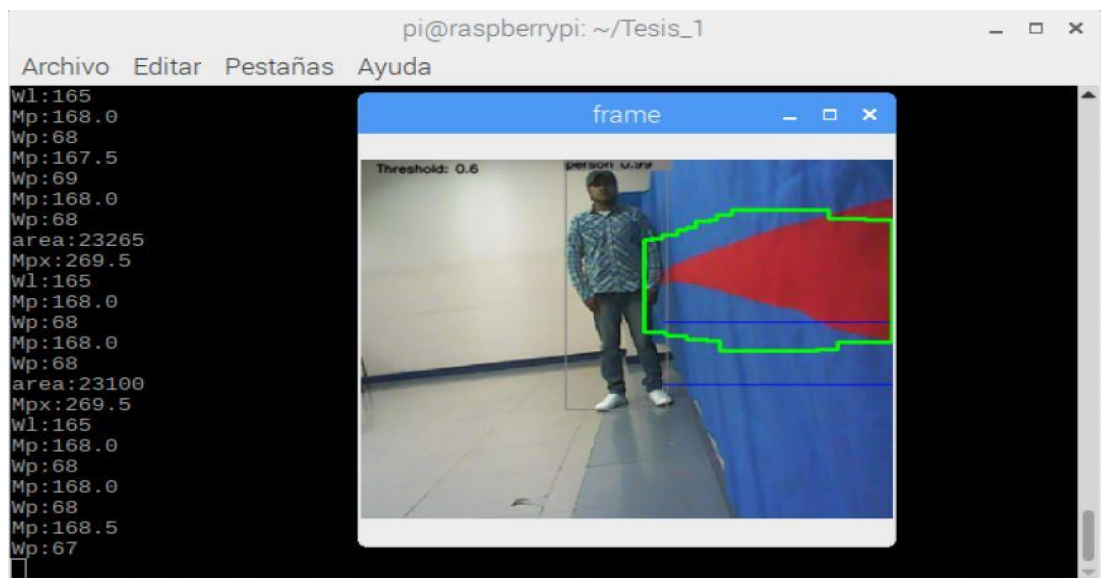
Figura 4.6 Guiado de la persona con obstáculo al frente



Funcionamiento del Lazarillo Robótico con obstáculo al frente. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

Cuando un objeto se encuentra frente al prototipo y cumplen con los limitadores del área que conforma su fisionomía lo encierra en un rectángulo de color negro y se etiqueta con la confiabilidad y que tipo de objeto es como se indica en la Figura 4.7

Figura 4.7 Confiabilidad y tipo de objeto



Confiabilidad 0.99 y tipo de objeto persona. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

4.5 Encuesta de Validación del Prototipo

La validación del Lazarillo Robótico para el guiado de personas invidentes se la realizó con 3 estudiantes invidentes del Colegio Leonardo Ponce Pozo, quienes realizaron las pruebas de funcionamiento como un prototipo de guiado. Los resultados de la encuesta se muestran a continuación.

4.6 Resultados obtenidos de la encuesta

Pregunta 1:

¿El prototipo le parece útil?

Figura 4.8 Resultados de la Pregunta 1



Gráfica de resultados que corresponden a la pregunta 1. Elaborado por Omar Moromenacho, Jairo Yanguicela.

En la Figura 4.8, los estudiantes del Colegio Leonardo Ponce Pozo están totalmente de acuerdo que el prototipo, es útil para su movilización como guiado dentro de un entorno específico ya que consideran que es una nueva herramienta para movilización a más del bastón con el que regularmente se movilizan.

Pregunta 2:

¿Está de acuerdo que el guiado del prototipo es efectivo?

Figura 4.9 Resultados de la Pregunta 2



Gráfica de resultados que corresponden a la pregunta 2. Elaborado por Omar Moromenacho, Jairo Yanguicela.

En la Figura 4.9, el 67% de los estudiantes del Colegio Leonardo Ponce Pozo están totalmente de acuerdo que el guiado del prototipo es efectivo, el 33% está en desacuerdo ya que al ser un prototipo nuevo tienen dificultad de adaptarse y confiar netamente en el prototipo.

Pregunta 3:

¿Está de acuerdo que la velocidad del guiado del prototipo debe ser lento?

Figura 4.10 Resultados de la Pregunta 3



Gráfica de resultados que corresponden a la pregunta 3. Elaborado por Omar Moromenacho, Jairo Yanguicela.

En la Figura 4.10, el 100% de los estudiantes del Colegio Leonardo Ponce Pozo están totalmente de acuerdo que la velocidad del guiado del prototipo debe ser lento, ya que para seguir las instrucciones de guiado que el prototipo brinda y no exista confusiones no se puede tener un prototipo con una velocidad alta.

Pregunta 4:

¿Está de acuerdo con el sistema de comunicación que se implementó entre el prototipo y el usuario?

Figura 4.11 Resultados de la Pregunta 4 1



Gráfica de resultados que corresponden a la pregunta 4. Elaborado por Omar Moromenacho, Jairo Yanguicela.

En la Figura 4.11, el 100% de los estudiantes del Colegio Leonardo Ponce Pozo están totalmente de acuerdo con el sistema de comunicación que se implementó entre el prototipo y el usuario, ya que manifiestan que es la mejor elección el audio y mucho mejor que sean frases y no solamente sonidos. También manifiestan que han probado el funcionamiento de prototipos donde el sistema de comunicación son sonidos y vibraciones, las cuales generan mucha confusión porque deben saber a qué corresponde cada sonido o cada vibración.

Pregunta 5:

¿El audio emitido para el guiado del prototipo es entendible?

Figura 4.12 Resultados de la Pregunta 5 1



Gráfica de resultados que corresponden a la pregunta 5. Elaborado por Omar Moromenacho, Jairo Yanguicela.

En la Figura 4.12, el 100% de los estudiantes del Colegio Leonardo Ponce Pozo están totalmente de acuerdo con el audio que se emite para el guiado del prototipo es entendible, ya que al ser sonidos de frases y palabras cortas no tienen inconveniente en comprender las instrucciones.

Pregunta 6:

¿Cree que el prototipo es una herramienta útil para el guiado de personas invidentes en un entorno cerrado?

Figura 4.13 Resultados de la Pregunta 6 1



Gráfica de resultados que corresponden a la pregunta 6. Elaborado por Omar Moromenacho, Jairo Yanguicela.

En la Figura 4.13, el 100% de los estudiantes del Colegio Leonardo Ponce Pozo están totalmente de acuerdo que el prototipo es una herramienta útil para el guiado de personas invidentes en un entorno cerrado, ya que es una herramienta adicional para su movilización a más de su bastón con el que regularmente se movilizan.

Pregunta 7:

Recomendaría la implementación y/o fabricación de este producto como una herramienta de guiado para personas invidentes en un entorno cerrado?

Figura 4.14 Resultados de la Pregunta 7 1



Gráfica de resultados que corresponden a la pregunta 7. Elaborado por Omar Moromenacho, Jairo Yanguicela.

En la Figura 4.14, el 67% de los estudiantes del Colegio Leonardo Ponce Pozo Recomendaría la implementación y/o fabricación del prototipo como una herramienta de guiado para personas invidentes en un entorno cerrado, el 33% por su confianza en su bastón para su movilización no está totalmente de acuerdo en la implementación y/o fabricación del prototipo.

4.7 Validación del prototipo

En base a la encuesta de siete preguntas realizadas a tres estudiantes del Colegio Leonardo Ponce Pozo, se determinará la validación del prototipo, la respuesta “Totalmente de acuerdo” corresponde a la aceptación y validación del prototipo, tal y como indica la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Validación del Prototipo 1

Pregunta	Número de personas que respondieron "Totalmente de acuerdo"
1	3
2	2
3	3
4	3
5	3
6	3
7	2
Total /21	19
% de validación	90%

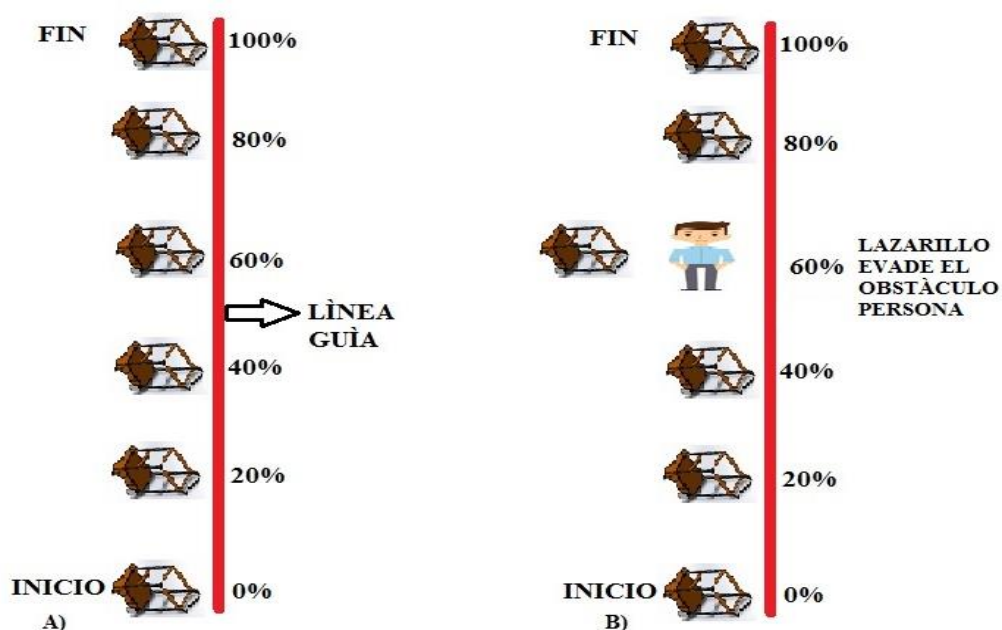
Tabla de resultados obtenidos de las siete preguntas realizadas. Elaborado por: Omar Moromenacho y Jairo Yanguicela.

4.8 Validación de las pruebas realizadas al Prototipo

Los tres estudiantes del Colegio Leonardo Ponce Pozo realizaron 2 pruebas de funcionamiento cada uno, la primera prueba fue sin obstáculos frente al prototipo y la segunda prueba con obstáculos frente al prototipo, de cada prueba se realizó dos veces para tener un mayor número de resultados.

Para ponderar en porcentajes de las pruebas realizadas se muestra una pista del trayecto en el que se moverá el prototipo, de inicio a 0% hasta fin a 100% tal como indica la Figura 4.15, arrojando los resultados mostrados en la Tabla 4.2.

Figura 4.15 Trayectoria de pruebas del Lazarillo Robótico 1



A) Trayectoria del Lazarillo Robótico sin obstáculo. B) Trayectoria del Lazarillo Robótico con obstáculo. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

Tabla 4.2 Tabla de validación de pruebas 1

	Primera Prueba 1 (%)	Segunda Prueba 1 (%)	Primera Prueba 2 (%)	Segunda Prueba 2 (%)
Estudiante 1	100	100	100	60
Estudiante 2	80	100	60	100
Estudiante 3	100	80	60	60

Prueba 1 Sin Obstáculos frente al Prototipo

Prueba 2 Con Obstáculos frente al Prototipo

Tabla pruebas de funcionamiento del Lazarillo Robótico. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

En la Figura 4.16 se muestra que la prueba que corresponde al guiado sin obstáculos frente al prototipo completa el guiado al 100% con los Estudiantes 1 y 3 mientras que con el Estudiante 2 llega al 80% del guiado. En la segunda ronda de pruebas el

prototipo completa el guiado al 100% con los Estudiantes 1 y 2, mientras que con el Estudiante 3 llega al 80% del guiado. Con los resultados que se ha obtenido el porcentaje de confiabilidad del prototipo llega a un 93% en la Prueba de guiado sin obstáculos.

Figura 4.16 Prueba de guiado sin obstáculos



Pruebas de funcionamiento del Lazarillo robótico sin obstáculos. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

En la Figura 4.17 se muestra que la prueba que corresponde al guiado con obstáculos frente al prototipo en la primera ronda de pruebas solamente con el Estudiante 1 logra completar el guiado al 100% mientras que con el Estudiante 2 y 3 el guiado llega al 60%. En la segunda ronda de pruebas solamente con el Estudiante 2 logra completar el guiado al 100% mientras que con los estudiantes 1 y 3 llega a completar el 60% del guiado. Con los resultados que se ha obtenido el porcentaje de confiabilidad del prototipo llega a un 73%.

Figura 4.17 Prueba de guiado con obstáculos



Pruebas de funcionamiento del Lazarillo robótico con obstáculos. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

4.9 Comparación de resultados con Prototipo de robot guía utilizando marcas en entornos dinámicos para las personas con discapacidad visual

El funcionamiento del “Prototipo de robot guía utilizando marcas en entornos dinámicos para las personas con discapacidad visual” se realiza en base a información que brinda al prototipo varios sensores como lo es sensores de línea, distancia, imagen mientras que el lazarillo robótico dispone solamente de un sensor y este es el de imagen (Lòpez, Pèrez Checa, Flores Aldàs, & Romero Saltos, 2019).

La detección de objetos en el “Prototipo de robot guía utilizando marcas en entornos dinámicos para las personas con discapacidad visual” hace que se detecte cualquier tipo de objeto con los sensores ultrasónicos más no específicamente objetos (Personas) como en nuestro lazarillo robótico.

Si el Prototipo de robot guía utilizando marcas en entornos dinámicos para las personas con discapacidad visual se convierte en una guía para personas invidentes, la persona guiada no tendrá modo de conocer los movimientos que realiza el prototipo más que solo dejándose llevar, mientras que el Lazarillo Robótico emite mensajes de voz indicando los movimientos que realiza.

En cuanto a la fiabilidad el prototipo obtiene un 75% mientras que la fiabilidad que alcanza el Lazarillo Robótico llega a un 93% y 73% en los dos tipos de pruebas. Esto debido principalmente al cambio en la estructura de apoyo, ya que el nuevo diseño presentado en este trabajo coloca la rueda castor adelante y no debajo del apoyo del usuario.

4.10 Relación de costos con dispositivos existentes en el mercado

En el mercado existen una variedad de dispositivos que fueron desarrollados para brindar ayuda a personas con discapacidad visual, se ha comparado con el dispositivo mostrado en la Tabla 4.3, donde se diferencia uno del otro por la cantidad de prestaciones y características que dispone.

Se aprecia que el Lazarillo Robótico resulta tener un valor menor y tiene similares características a los prototipos existentes.

Tabla 4.3 Relación de precios

DISPOSITIVO	Asistente móvil electrónico para personas invidentes (AMEPI)	Desarrollo de un lazarillo robótico apoyado con visión artificial para el guiado de personas invidentes
CARACTERÍSTICAS	Controlador dual de motores. Puente H DVR8833	1 Drive Puente H L298N
	Chasis Rover 5 con encodres	Chasis de perfil de aluminio y mdf de 3 mm
	6 Bateria AA recargables	1 Bateria 12V-12AH
	2 Webcam Microsoft LifeCam HD-300 WIN USB HD720p true color	1 Cámara Web Logitech C170
	Laptop Acer Aspire One D270-1631	Raspberry PI 3 B+
	Arduino Uno	Arduino Uno
	Bastón Blanco	
	Auriculares	Auriculares
	3 Sensores Ultrasónicos	
		Intel NCS 2
	Diadema Logitech h600 Wireless recargable c/micrófono pc	
Costo	\$ 1000	\$500

Tabla de precios entre Robot AMEPI y Lazarillo Robótico. Elaborado por: Jairo Yanguicela y Omar Moromenacho.

Como se analiza en la Tabla 4.3, el Prototipo realizado es de bajo costo, independiente del costo de Ingeniería.

CONCLUSIONES

Una vez recopilado la información necesaria ya sea de papers, documentos y prototipos existentes semejantes, así también como recomendaciones obtenidas en una entrevista a un alumno y maestra del Colegio Leonardo Ponce Pozo que presentan discapacidad visual se determinó los componentes adecuados para el software y hardware del prototipo, los cuales son: Raspberry PI 3 B +, NCS2, cámara web, módulo bluetooth, Arduino, RF player, motores DC, drivers, Batería DC y en cuanto a su estructura se optó utilizar materiales sólidos y de bajo costo como lo es barras de aluminio y MDF.

El Lazarillo Robótico para guiado de personas invidentes se fabricó de materiales y componentes de bajo costo, y de acuerdo a la Tabla 4.3 donde se realizó una comparación en cuanto a características y precio de cada uno de los prototipos, se comprueba que se ha reducido el costo en un 50% ya que el costo total del prototipo elaborado llega a un valor de \$500.

Para el desarrollo del algoritmo de visión artificial se ha utilizado OpenVino que con sus herramientas se ha disminuido el nivel de procesamiento de la Raspberry PI 3 B + ya que tal procesamiento recae sobre el NCS2 que con sus modelos de redes neuronales previamente entrenados libres para descargar, realiza la detección de todo tipo de objetos siempre y cuando consten en el modelo de la red neuronal.

Para la implementación del Prototipo robótico se ha incorporado una cámara web como sensor de imagen que toma imágenes del entorno en el que se encuentra, las cuales son procesadas en paralelo entre el NCS2 y Raspberry PI 3 B + para de acuerdo al algoritmo desarrollado se ejecuten las ordenes establecidas y se informe a las personas invidente los movimientos del prototipo mediante el sistema de comunicación escogido.

El sistema de comunicación elegido entre el prototipo y la persona es por mensajes de voz (audio), mensajes que se envía desde el Lazarillo Robótico hacia la persona

invidente mediante Bluetooth. Los mensajes de voz son instrucciones claras, cortas y en tiempo real, esto garantiza que exista mayor confianza para que la persona se pueda desplazar de forma segura, a diferencia de sonidos, vibraciones que en vez de ser una ayuda termina confundiendo a la persona, esto último se conoció en una entrevista realizada a una persona con discapacidad visual y a su profesor que también tiene discapacidad visual. Los mensajes de voz se generaron con anterioridad con la librería gTTs que los guarda en formato MP3.

Para probar el funcionamiento del prototipo, el mismo fue sometido a diferentes pruebas, siempre en un lugar de superficie plana donde se verificó que el guiado se cumple con los diferentes giros que realizó el prototipo. Para el reconocimiento de objetos y el camino marcado con una guía la calibración del ambiente es primordial, para que el prototipo cumpla con el guiado de manera satisfactoria.

El funcionamiento del prototipo ha obtenido el porcentaje de confiabilidad de 93% en la prueba de guiado sin obstáculos, y para la prueba de guiado con obstáculos ha obtenido el porcentaje de confiabilidad de 73%, por lo que se considera un funcionamiento aceptable ya que la confiabilidad supera el 70% en ambas pruebas presentadas en la sección 4.8.

La validación del funcionamiento del prototipo se realizó con estudiantes con discapacidad visual del Colegio Leonardo Ponce Pozo, los cuales probaron el funcionamiento del prototipo y se validó con un 90% en base a la encuesta realizada después de las pruebas realizadas tal como indica la Tabla 4.1 de la sección 4.7.

RECOMENDACIONES

Se pudo comprobar que la tarjeta de desarrollo Raspberry PI 3 B + llegó a un 86% de capacidad de su procesamiento en una de las pruebas realizadas en el reconocimiento de objetos, esto es por la cantidad de cuadros que capta el sensor de imagen y las envía al procesamiento en paralelo de la tarjeta desarrollo y el NCS2, por lo que se recomienda utilizar una tarjeta de desarrollo de mayores capacidades de procesamiento para evitar tener problemas en la detección de objetos.

Para calibrar y probar el Sistema de Visión Artificial se recomienda tener una buena iluminación para tener un mejor procesamiento de las imágenes a través de la cámara. Ya que el nivel de luz ambiente varía dependiendo del lugar a lo largo del día afectando a los programas de las cámaras de visión artificial.

Para subir el porcentaje de efectividad en la prueba de guiado con obstáculos se recomienda utilizar otro sensor de imagen en el lado derecho del prototipo, ya que al utilizar solamente uno se pierde información del entorno cuando el prototipo realiza la evasión de obstáculos. Pero se debe tener presente que al utilizar otro sensor de imagen el procesamiento de la tarjeta de desarrollo debe ser de mayor capacidad.

Si se requiere tener una autonomía mayor del prototipo se recomienda utilizar una batería DC de mayor capacidad en amperios hora.

Para no consumir la capacidad de procesamiento de la tarjeta de Desarrollo, al detectar al objeto frente al lazarillo robótico se recomienda que se emita un mensaje en altavoz con la instrucción PERMISO, con lo que el objeto detectado (la persona) escuche el mensaje de voz y de inmediato se aparte del camino cediendo el paso al lazarillo robótico que guía a la persona invidente.

REFERENCIAS

- Andrade, L. A., & Orellana Torres, R. D. (2017). *DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT MÓVIL DE COMPETENCIA MULTI-CATEGORÍA (Tesis de Pregarado)*. Universidad Politècnica Salesiana, Quito, Ecuador.
- Argos. (12 de Abril de 2015). *Convertidores DC/DC – Buck*. Obtenido de Nomadas Electronicos: Recuperado de <https://nomadaselectronicos.wordpress.com/2015/04/12/convertidores-dcdc-buck/>
- China.cn. (2019). *Suministro importado motor de engranajes DC japonés 8PV017D DC19V 143RPM*. Obtenido de China.cn: Recuperado de <https://www.china.cn/weixingdiandongji/3662764861.html#a1>
- Correa, M. D. (2015). *Ayuda a la localizacion de un robot movil autònomo en los pasillos de un supermercado por medio de metodos de visiòn (Tesis de Maestria)*. Universidad Veracruzana, Veracruz, Mèxico.
- Diaz, J. (21 de Enero de 2016). *PLACA ARDUINO UNO*. Obtenido de MiArduino: Recuperado de <http://www.iescamp.es/miarduino/2016/01/21/placa-arduino-uno/>
- Fernàndez, V. R. (2002). *Robòtica*. Obtenido de Control automatizado y robòtica 2002: Recuperado de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/index.htm
- Gonzàlez, C. P. (2016). *DETECCIÒN Y SEGUIMIENTO DE OBJETOS POR COLORES EN UNA PLATAFORMA RASPBERRI PI (Tesis de Pregrado)*. UNIVERSIDAD POLITÈCNICA MADRID , Madrid, España.
- Harvey, M. (11 de Julio de 2017). *Creating insanely fast image classifiers with MobileNet in TensorFlow*. Obtenido de HackerNoon: Recuperado de <https://hackernoon.com/creating-insanely-fast-image-classifiers-with-mobilenet-in-tensorflow-f030ce0a2991>
- Heras, D. C. (2017). *Sistema automático para el registro del personal de la Empresa SeguMedik (Tesis de Maestria)*. Universidas Catòlica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

- INTEL. (23 de Abril de 2019). *INTEL Open Source Technology Center* . Obtenido de Recuperado de :<https://download.01.org/opencv/2019/openvinotoolkit/>
- INTEL NEURAL COMPUTE STICK. (12 de Octubre de 2018). *Introducing The Intel Neural Compute Stick 2 (Intel Ncs 2)*. Obtenido de INTEL NEURAL COMPUTE STICK: Recuperado de <https://software.intel.com/en-us/neural-compute-stick>
- intercompras. (22 de Enero de 2013). *Router D-Link DIR-610 - Wireless N - 150Mbps - 4 Puertos 10/100 - Negro*. Obtenido de intercompras: Recuperado de <https://intercompras.com/p/router-d-link-dir-wireless-n-150mbp-puertos-negro-70146>
- Joom. (2019). *Módulo de inversión cc-cc mejorar 24v / 12v a 5v / 5a paso a paso convertidor módulo de alimentación 45 x 30x 15mm*. Obtenido de I JOOM: Recuperado de <https://www.joom.com/es/products/1492094284014951136-83-1-582-3746459976>
- Lambert, R. (28 de Enero de 2018). *Focus : MobileNet-SSD, pour identifier les objets avec une caméra de smartphone!* Obtenido de PENSÉE ARTIFICIELLE: Recuperado de <http://penseeartificielle.fr/mobilenet-ssd-identifier-objets-camera-smartphone/>
- Llamas, L. (30 de Enero de 2017). *REPRODUCIR MP3 EN ARDUINO CON DFPLAYER MINI*. Obtenido de Ingeniería, informática y diseño: Recuperado de <https://www.luisllamas.es/arduino-mp3-dfplayer-mini/>
- Logitech. (2011). *Webcam C170*. Obtenido de Logitech: Recuperado de <http://www.cartimex.com/v2/pdf/960-000880.pdf>
- López, J. A., Pérez Checa, A. R., Flores Aldàs, C. E., & Romero Saltos, J. M. (2019). Prototype of guide robot using marks in dynamic environments for visually impaired people. *IVPAI2019 2019 International conference on Image, Video Processing and Artificial Intelligence* , 2-5.
- Mantilla, G. A., & Orduz Rodríguez, J. J. (2015). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA REVISIÓN DEL NIVEL DE LLENADO DE BEBIDAS EMBOTELLADAS (Tesis de Pregrado)*. Universidad Autónoma Del Caribe, Barranquilla, Colombia.
- Márquez, G. A. (2016). *SISTEMA INTELIGENTE DE RECONOCIMIENTO DE PATRONES CON VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA ALERTA AUTOMÁTICA*

- DE INTRUSOS EN LAS ÁREAS DE ALMACENAMIENTO DE LAS PYMES* (Tesis de Pregrado). Universidad Tècnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Márquez-Sánchez, C., Antonio-Cruz, M., & Sosa-Cervantes, C. Y. (1 de Septiembre de 2014). *ROBOTS MÓVILES DE RUEDAS: GENERALIDADES*. Obtenido de Instituto Politécnico Nacional: Recuperado de <http://www.boletin.upiita.ipn.mx/index.php/ciencia/593-cyt-numero-45/1081-robots-moviles-de-ruedas-generalidades>
- Martínez, S. (26 de Agosto de 2015). *Desarrollan robot guía para invidentes*. Obtenido de Lolsebas 16: Recuperado de <http://smartinezinnovators.blogspot.com/>
- NAYLAMPMECHATRONICS. (2019). *Driver Puente H L298N*. Obtenido de NAYLAMPMECHATRONICS: Recuperado de <https://naylampmechatronics.com/drivers/11-driver-puente-h-l298n.html>
- NAYLAMPMECHATRONICS. (2019). *Módulo Bluetooth HC05*. Obtenido de NAYLAMPMECHATRONICS: Recuperado de <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/43-modulo-bluetooth-hc05.html>
- Ochoa, M. G. (2015). *Desarrollo de un sistema de visión artificial para la detección de aglomeración de personas en un semáforo* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional De Loja, Loja, Ecuador.
- OpenVINO Toolkit. (2019). *Install OpenVINO™ toolkit for Raspbian* OS*. Obtenido de OpenVINO Toolkit: Recuperado de https://docs.openvinotoolkit.org/latest/_docs_install_guides_installing_openvino_raspbian.html
- OpenVINO toolkit. (2019). *OpenVINO toolkit Documentation*. Obtenido de OpenVINO toolkit: Recuperado de <https://docs.openvinotoolkit.org/latest/index.html>
- Ortega, P. A., & Sola Marcillo, J. G. (2016). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL PROVISTO DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL RECONOCIMIENTO DE OBJETOS Y POSICIONAMIENTO DEL MÓVIL A LOS OBJETOS* (Tesis de Pregrado). ESCUELA POLITÈCNICA NACIONAL, Quito, Ecuador.
- Pastor, J. (25 de Abril de 2018). *Raspberry Pi 3 Model B+, análisis: más potencia y mejor WiFi para un miniPC que sigue asombrando*. Obtenido de Xataca:

Recuperado de <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-3-model-b-analisis-mas-potencia-y-mejor-wifi-para-un-minipc-que-sigue-asombrando>

RaspberryPi. (8 de Abril de 2019). *Raspbian*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>

Smith, N. (11 de Abril de 2019). *Transitioning from Intel® Movidius™ Neural Compute SDK to Intel® Distribution of OpenVINO™ toolkit*. Obtenido de INTEL NEURAL COMPUTE STICK: Recuperado de <https://software.intel.com/en-us/articles/transitioning-from-intel-movidius-neural-compute-sdk-to-openvino-toolkit>

stackoverflow. (21 de Enero de 2018). *Choosing the correct upper and lower HSV boundaries for color detection with `cv::inRange` (OpenCV)*. Obtenido de stackoverflow: Recuperado de https://stackoverflow.com/questions/10948589/choosing-the-correct-upper-and-lower-hsv-boundaries-for-color-detection-withcv?fbclid=IwAR33DZCkWx_Z1cyhHB7NuOICxaTD75GL4aVzeeFbiUZBEL_1WITiNPSOtXs

THOT Computaciòn. (2019). *Webcam Logitech C170*. Obtenido de THOT Computaciòn: Recuperado de <https://thotcomputacion.com.uy/producto/webcam-logitech-c170/>

TT MOTOR. (10 de Julio de 2017). *Diferencia entre un motor de corriente continua y un motor de engranajes*. Obtenido de TT MOTOR: Recuperado de <http://www.usattmotor.com/news/difference-between-a-dc-motor-and-gear-motor-8448959.html>

Veloso, C. (6 de Mayo de 2016). *PUENTE H CON DRIVER L298*. Obtenido de ETOOLS: Recueprado de <https://www.electrontools.com/Home/WP/2016/05/06/puente-h-con-driver-l298/>